Een selectiemethode voor de materiaalkeuze van afvalwaterleidingen

Samenvatting
Onvoldoende bekendheid met de toepasbaarheid van bestaande buismaterialen voor de afvoer van industrieel afvalwater heeft naast een inventarisatie van geschikte materialen geleid tot de uitwerking van een selectiemethode. Deze methode omvat:
- *het kiezen van een corrosiebestendig materiaal*; bij de beoordeling wordt gebruik gemaakt van een scoretechniek. Deze aanpak maakt het mogelijk om voor een eerste oriëntatie de chemische beperkingen van een materiaal te signaleren;
- *de dimensionering van een buisconstructie*; de dimensionering van een rioleringsbuis in de grond is gebaseerd op de methode Leonhardt, vastgelegd in de ATV A127 van de Abwassertechnischen Vereinigung (St. Augustinus) en het CUR-VB rapport nr. 122 van de Betonvereniging (Zoetermeer). De berekeningsmethode is geschikt voor zowel stijve als flexibele buismaterialen;
- *het beoordelen van de toepasbaarheid*; de uiteindelijke keuze berust voor een deel op een berekening van de investeringskosten. Belangrijk is echter ook de afweging van de kosten van exploitatie en onderhoud. De gunstigste oplossing is die oplossing die op jaarbasis naar verwachting het minste zal kosten.

Het doel van de geschetste aanpak is het realiseren van een kwaliteitsbewust ontwerp, waarbij de kosten van onderhoud en exploitatie gerelateerd worden aan de investeringskosten.

1. Inleiding

Onvoldoende bekendheid met de toepas baarheid van bestaande buismaterialen voor de afvoer van industrieel afvalwater vormde de aanleiding voor onderzoek. De vraagstelling heeft geleid tot een inventarisatie van geschikte materialen voor zowel industriële als openbare rioleringsstelsels. Het onderzoek omvatte tevens de uitwerking van een methode voor de keuze van buismaterialen in afhankelijkheid van de hoedanigheid van het afvalwater. De methode omvat:

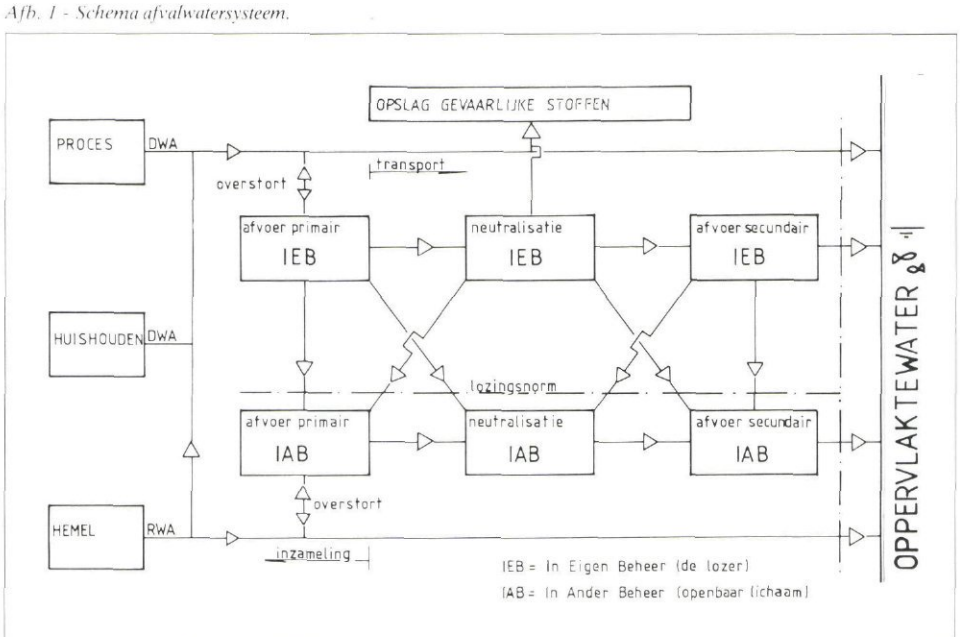
P. P. G. GANZEVLES
TU Delft
Heidemij Adviesbureau BV

– het kiezen van een corrosiebestendig materiaal;
– de dimensionering van een buisconstructie;
– het beoordelen van de toepasbaarheid.

Getracht is de keuze van een corrosiebestendig materiaal toegankelijk te maken door middel van een scoretechniek.
Deze aanpak maakt het mogelijk om voor een eerste oriëntatie de chemische beperkingen van een materiaal bij een gegeven afvalwatersamenstelling duidelijk naar voren te laten komen.
De toepasbaarheid van een aldus geselecteerd materiaal wordt enerzijds beperkt door de hydraulisch vereiste doorsnede in relatie tot de beschikbare leidingdiameters en uitvoeringsmogelijkheden en anderzijds door de toetsing van het draagvermogen van de gegenereerde constructieve oplossing.
De controle van sterkte- en stijfheidseisen bij de dimensionering van een leiding geschiedt op basis van de methode Leonhardt [lit. 1]. Voor deze methode, opgenomen in de ATV A127 [lit. 2] en de CUR-VB 122 [lit. 3], is gekozen, omdat deze in beginsel zowel de flexibele als de stijve buismaterialen betreft.

De uiteindelijke keuze, ofwel het beoordelen van de toepasbaarheid, hangt vooral af van de begrote investeringskosten. Essentieel is echter ook de afweging van de gekapitaliseerde kosten van onderhoud en exploitatie als verhouding tot de initiële investering. Voor de onderlinge vergelijking van verschillende materiaaluitvoeringen is uitgegaan van een aan te nemen ontwerplevensduur. De gunstige oplossing is die uitvoering die gedurende deze periode op jaarbasis naar verwachting het minste zal kosten.
Aan het selecteren van geschikte materialen gaat een verkenning van de ontwerpsituatie vooraf om een programma van eisen op te kunnen stellen.

Afb. 1 - Schema afvalwatersysteem.



2. Verkenning ontwerpsituatie

De voorwaarden in het programma van eisen hebben betrekking op:
a. de opdrachtgever en zijn bedrijfsvoering;
b. de plaats van het rioolstelsel;
c. de hoedanigheid en hoeveelheid van het afvalwater;
d. de tracering van de leiding(en).

ad a. de opdrachtgever en zijn bedrijfsvoering
De opdrachtgever is veelal een particulier (bijvoorbeeld een industrie) of gemeente in respectievelijk de rol van lozer en inzamelaar van afvalwater met elk hun specifieke bedrijfsvoering. Voor het programma van eisen zijn de volgende overwegingen van belang:
– maatregelen en ontwikkelingen met betrekking tot de hoeveelheid en hoedanigheid van het afvalwater;
– financiering van investering en exploitatie;
– uitvoering van rioolbeheer.

ad b. de plaats van het rioolstelsel
De plaats van het rioolstelsel in het totale afvalwatersysteem (afb. 1) geeft aan of andere beheerders (bijvoorbeeld die van het oppervlaktewater) eisen kunnen stellen aan de lozing van afvalwater (bijvoorbeeld ten aanzien van voorbehandeling van afvalwater, overstortfrequentie).

ad c. de hoedanigheid en hoeveelheid van het afvalwater
Het is gebruikelijk de volgende typen afvalwater te onderscheiden:
– procesafvalwater vrijkomend bij

produktieprocessen in industrie, midden- en kleinbedrijf, ziekenhuizen in de vorm van afval en/of koelwater (DWA);
- huishoudelijk afvalwater (DWA);
- regen- en smeltwater (RWA).

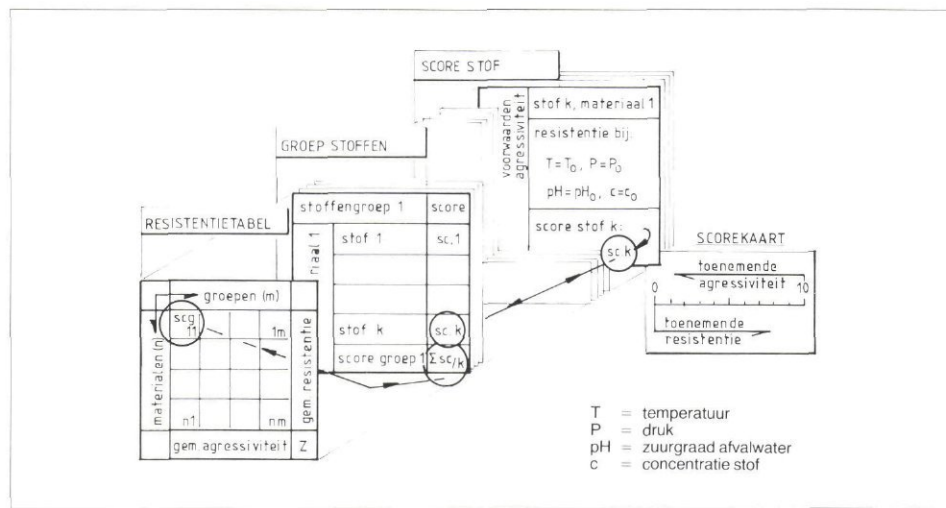
Naast een chemische en fysische analyse van de geaardheid van het afvalwater is voor de dimensionering van een leiding de hoeveelheid van belang. Bij de inzameling van rioolwater heeft een scheiding van afvalwaterstromen' bijvoorbeeld de DWA apart van de RWA, belangrijke gevolgen voor de benodigde capaciteit. Niet alleen de stelselkeuze, maar ook de afvoerpotentiaal en instationaire hydrologische berekeningen van gemengde stelsels hebben invloed op de vereiste doorsnede.

ad d. de tracering van de leiding(en)
Bij de tracering van de leiding(en) komen de knelpunten met betrekking tot de aanleg naar voren. Behalve kruisingen met overige infrastructuur (verkeers-, vaar- en spoorwegen, leidingen) en natuurlijke obstakels kunnen daarenboven sociaal-economische overwegingen de uitvoeringstechniek, in het bijzonder de aanleg van een leiding in de grond met of zonder sleuf, bepalen. Bovendien verkrijgt men een indruk van de geschikte afvoerpotentiaal: onder vrij verval of onder druk.

De voorgaande beschouwingen moeten resulteren in de uitwerking van een hydraulisch concept, resulterend voor de afzonderlijke leiding in:
- de vereiste inwendige doorsnede;
- de diepteligging en verhang;
- de eventuele bedrijfsdruk.

Tenslotte dienen de constructieve randvoorwaarden voor de aanleg opgesteld te worden. Een grond- en grondwateronderzoek [NPR 3218 lit. 4] geeft daarvoor inzicht in:
- het draagvermogen van de grond;
- de opbouw en samenstelling van de grond;
- de grondwaterstand(en) en -stroming;
- de agressiviteit van zowel bodem als grondwater.

Naast de eigenschappen van bodem en grondwater zijn bij een onderzoek van het externe buismilieu vooral de verkeersbelasting en eventueel een extra bovenbelasting aan de orde.



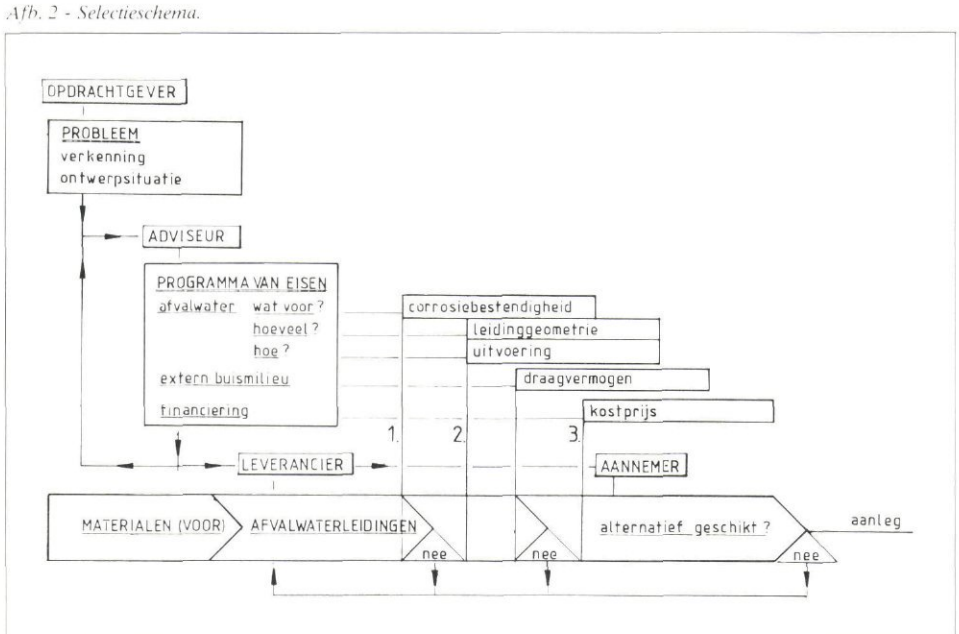
Afb. 3 - Afleiding resistentietabel. (zie 3.2.).

3. Materiaalkeuze

3.1. *Selectieprocedure*

De selectie uit de voor afvalwaterleidingen geschikte materialen moet leiden tot een financieel-economisch verantwoorde oplossing. In afb. 2 is het stroomschema van de gevolgde selectiestappen weergegeven.

Afb. 2 - Selectieschema.



Het kiezen berust op drie vragen:
1. Wat voor soort afvalwater moet afgevoerd worden?
2. Hoeveel afvalwater wordt er afgevoerd?
3. Hoe dient de afvoer gerealiseerd te worden?

De antwoorden op deze vragen hebben betrekking op respectievelijk de corrosiebestendigheid, de geometrie en uitvoering van een leiding. De gegenereerde alternatieven toetsen we aan de eisen voor het draagvermogen en de kostprijs in relatie tot de verwachte kwaliteit.

3.2. *Keuze corrosiebestendig materiaal*

Uitgangspunt bij de beoordeling van de corrosiebestendigheid zijn de voor de uiteenlopende materialen gebruikelijke resistentielijsten. Nu is het oplepelen van een groot aantal chemicaliën in alfabetische volgorde met bijbehorende invloed op een materiaal niet erg selectievriendelijk. Daarom is getracht door het arbitrair toekennen van scores een meer systematische aanpak te realiseren.
Voor chemicaliën ligt het min of meer voor de hand deze in te delen op grond van karakteristieke groepen en/of reactiewijze; een indeling kan bijvoorbeeld bestaan uit zuren, basen, zouten, vetten etc.. De score voor een groep van chemicaliën komt tot stand door de invloed op een materiaal van de afzonderlijke, bij die groep horende stoffen aldus te kwalificeren:
- bestendig = score 10
- voorwaardelijk bestendig = score 5
- onbestendig = score 0

Deze benadering toegepast op verscheidene materialen levert een resistentietabel op. Een van de maximale resistentie (=10) afwijkende gerealiseerde, gemiddelde score betekent, dat er in de geselecteerde groep van chemicaliën stoffen aanwezig zijn, die de resistentie negatief beïnvloeden. De tabel

heeft op deze manier een duidelijke signaalfunctie.
De beschreven theorie is ook geschikt voor de classificatie van de agressiviteit van het afvalwater. De afvalwatersamenstelling is namelijk agressiever naarmate de resistentie van het toe te passen materiaal hiertegen minder is. In afb. 3 is de bovenvermelde gedachtengang schematisch weergegeven.
Het gebruik van de resistentietabel kan voor een eerste kennismaking bestaan uit het schrappen van niet in het afvalwater aanwezige groepen/stoffen om een beeld te krijgen van de stoffen, die corrosie kunnen initiëren. Of het aldus gesignaleerde problemen geeft met betrekking tot de chemische resistentie hangt samen met een meer gedetailleerde uitwerking en omvat:
– verificatie van de bij een groep geselecteerde stoffen;
– aanvullen en/of schrappen van stoffen;
– controle voorwaarden: temperatuur, concentratie, reactiemechanisme in relatie tot milieuparameters, zoals de pH, BZV/CZV;
– berekenen nieuwe scores.

De voor de constructie van rioleringen geschikte materialen kunnen we als volgt indelen:
– constructieve materialen, die geschikt zijn voor de constructie van buizen;
– bekledingsmaterialen, die bestemd zijn voor de bescherming tegen corrosie van de constructieve materialen;
– elastomeren als materiaal in de verbindingen.

Hoewel constructieve materialen in beginsel de voorkeur genieten, kunnen bekledingen als lining noodzakelijk zijn voor het verhogen van de chemische resistentie. Dit is vooral aan de orde als mocht blijken, dat een gewenste chemische kwaliteit niet strookt met een vereiste constructieve oplossing. Voor de toepassing van deze 'bekledingdragers' is in verband met produktie- en uitvoeringstechnische aspecten altijd overleg met de leverancier gewenst.
Behalve de materiaaluitvoering van de buis zelf zijn ook de eventueel in een verbinding te gebruiken elastomeren (=(synthetische) rubbers) van belang. Aan de verbinding kan niet genoeg aandacht besteed worden; een keten (leiding) is namelijk zo sterk als zijn zwakste schakel.

3.3. *Uitwerking buisconstructie*

De hoedanigheid en hoeveelheid van het afvalwater stellen eisen aan respectievelijk de corrosiebestendigheid en de geometrie van een leiding. De vraag is nu of dit gestalte kan krijgen in een constructievorm. Deze verwezenlijking is mede afhankelijk van enerzijds het aanbod van buismaterialen (afb. 4) anderzijds de eigenaardigheden van het externe buismilieu. Naast de benodigde inwendige diameter spelen ook andere overwegingen een rol bij het ontwerp van een leidingsysteem, zoals:
– geschiktheid voor druktoepassingen;
– standaardlengte en gewicht buiselementen;
– uitvoering verbindingen;
– aanlegvoorwaarden;
– geschiktheid voor sleufloze bouwwijze;
– flexibiliteit in langsrichting in verband met zettingen;
– uitvoering bochten;
– appendages (afsluiters, kleppen, inspectieputten etc.).
De genoemde aspecten zijn 'eigen' aan de constructieve kwaliteit van een buismateriaal en bepalen bijvooreeld de uitvoeringsgevoeligheid. Deze gevoeligheid komt tot uitdrukking in de bouwtijd, inzet materieel en arbeid en mede hierdoor in de investeringskosten.

TABEL I – *Vervormingscoëfficiënten.*

$2\alpha k$	cv1	cv2	ch1	ch2
30°	−0.113	0.064	0.109	−0.0658
60°	−0.105	0.064	0.103	−0.0658
180°	−0.083	0.064	0.083	−0.0658

Afb. 4 - Aanbod buismaterialen.

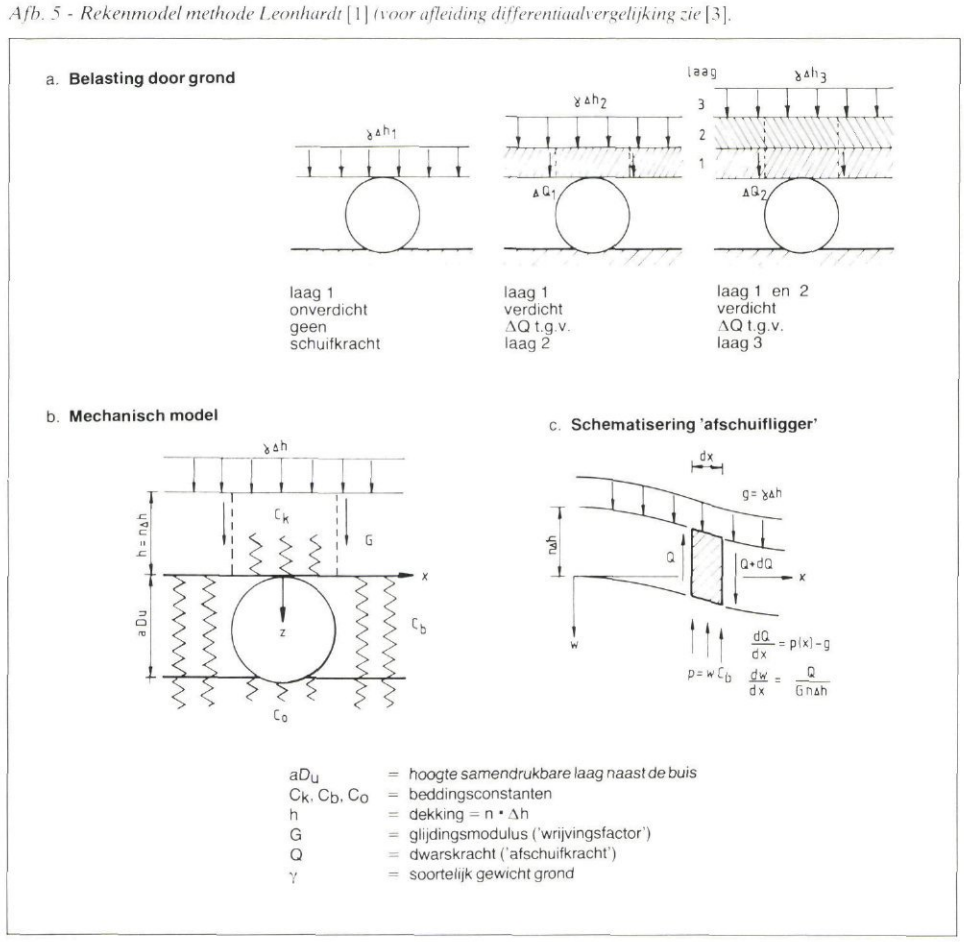
constructieve materialen voor riolering			DIAMETER inwendig / uitwendig* min	max	DRUKTOEPASS	PERSBUIS	mof/spie	mof/mof	gas	trans	NORM
MATERIAAL	TYPE		mm	mm							
BETON	ongewapend		250	1500			●				NEN 3825
	gewapend	zachtstaal	300	2000	●	●	●				NEN 3261
		staalvezels	300	1500			●				NEN 3261
		plaatstalen kern	300	3000	●	●	○		●	○	NEN 7101
		voorspanstaal	600	2000	●		●				
ASBEST-CEMENT			80	2500	●	●		●		○	NEN 3262 NEN 3269
GRES	normaal		200	1200			●				DIN 1230
	versterkt		200	1200		●	●				DIN 1230
PVC	extrusie klasse S1,S1,34,26,21		< 80*	630*	●		○	●			NEN 7045 NEN 7029
HDPE/PP	extrusie klasse 2,5,32,6,10bar		< 80*	1200*	●				●		DIN 8074 DIN 8077
	spiraalwikkel		300	3000			●		●	○	DIN 16961
GVK	wikkel		< 80	1400	●		●		○	●	NEN 7037
	centrifuge		200	2000	●	●	○	●	○	○	NEN 7037
STAAL	gelast		< 80*	2220*	●	●	○		●	○	NEN 2399
	naadloos		< 80*	600*	●	●	○		●	○	NEN 2323
NODULAIR GIETIJZER			100	2000	●	●	●			○	DIN 19691

● geschikt
● gebruikelijk } als verbinding
○ mogelijk

TABEL II – *Moment- en normaalkrachtcoëfficiënten.*

$2\alpha k$	c	c*	n	n*	ceg	neg	cv1	nv1
30°	0.117	−0.045	−0.049	−0.289	0.089	−0.076	0.070	0.315
60°	0.094	−0.045	−0.040	−0.289	0.066	−0.067	0.053	0.323

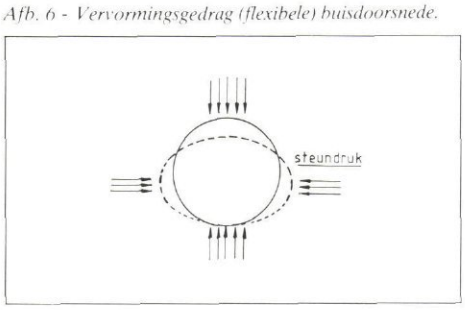
Afb. 5 - Rekenmodel methode Leonhardt [1] *(voor afleiding differentiaalvergelijking zie* [3]*).*



3.3.1. Toetsing draagvermogen
Het draagvermogen, ofwel het voldoen aan sterkte-, vervormings- en stabiliteitseisen, van de geselecteerde constructieve alternatieven is afhankelijk van zowel de wisselwerking tussen buis- en grondconstructie als de op de totale constructie uitgeoefende belastingen. Er is sprake van een grondconstructie, omdat de wijze van aanvullen grote invloed heeft op het draagvermogen. Bij een eerste kennismaking met rekenmethoden voor de berekening van de belastingen op een buis wordt men geconfronteerd met een veelheid aan berekeningswijzen, zoals die er zijn volgens Marston, Spangler, Roske, Wetzorke, Molin, Bossen en niet te vergeten Leonhardt.
De laátstgenoemde methode is overgenomen in de ATV A127 en het CUR-VB rapport 122. Deze methode is zeer geschikt, omdat:
– in beginsel alle buismaterialen met elkaar vergeleken kunnen worden;
– er geen principieel onderscheid is tussen de zogenaamde smalle- en brede-sleufconditie;
– het gebaseerd is op een duidelijk, voor berekening toegankelijk fysisch model.

Het rekenmodel (afb. 5) is gebaseerd op het feit, dat het grondpakket boven de buis door laagsgewijze aanvulling als een afschuifligger gezien kan worden. Hierbij bepaalt de wrijving tussen de korrels in het grondpakket de vervorming en daarmee de krachtswerking van de 'ligger'. De (af)schuifvervorming hangt samen met een niet spanningsafhankelijke glijdingsmodulus ('wrijvingsfactor'). Deze afschuifligger is elastisch ondersteund door zowel de buis als het grondpakket naast de leiding. De ondersteuning wordt voor de berekening aangenomen als een stelsel van niet gekoppelde veren. De elastische bedding wordt tijdens de uitvoering geactiveerd. De optredende vervormingen bepalen de uiteindelijke belasting.
De flexibiliteit van een buis in de grond komt tot uitdrukking in een zogenaamde systeemstijfheidsverhouding, gedefinieerd als het quotiënt van de stijfheid van de buisdoorsnede – de ringstijfheid – en de stijfheid van de (horizontale) bedding (ATV: VRB=SR/Sbh). Een systeemstijfheidsverhouding kleiner dan een grenswaarde (ATV: VRB<0,1) betekent, dat de door vervormen van een buis opgewekte steundruk (afb. 6) essentieel is voor het draagvermogen; dit is bijvoorbeeld het geval bij kunststof buizen, zoals die van PVC, PE-HD en GVK. Het in rekening brengen van de flexibiliteit heeft echter wel een rekentechnische complicatie tot gevolg. De verticale vervorming is namelijk afhankelijk van zowel de verticale grondbelasting als de opgewekte actieve steundruk, maar daarvoor moet de vervorming bekend zijn. De praktische oplossing voor dit iteratieproces is gevonden in een interpolatieformule (zie rekenvoorbeeld). De berekening van de op de buis werkende belastingen moeten leiden tot een beoordeling van de sterkte en stijfheid. Onderzocht moet worden of de berekende spanningen de maatgevende karakteristieke

Afb. 6 - Vervormingsgedrag (flexibele) buisdoorsnede.

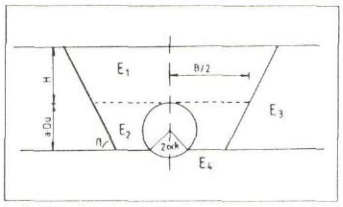


Opmerkingen bij rekenvoorbeeld:
1. In het rekenvoorbeeld is voor de berekening van de belastingen uitgegaan van [3]. Tussen haakjes is het resultaat volgens [2] gegeven.
2. Voor de Nederlandse situatie is de VOSB 1963 van toepassing. [2] gaat uit van DIN 1072: SLW 30 is vergelijkbaar met klasse 30 volgens de VOSB.
3. De berekening van de vervorming geschiedt i.o.m. [2] bij $2\alpha k = 180'$.
4. Omdat het voorbeeld een buis in ophoging betreft ($B = \infty$) is de vereffeningsfactor ξ gelijk aan 1.0.
5. De verkeersbelasting volgens [3] voldoet beter aan de uitgangspunten van de methode Leonardt en verdient de voorkeur boven de berekening volgens [2].
6. Vs1' wijkt af van Vs1 in verband met een wijziging in een uitgangspunt voor de afleiding van de differentiaalvergelijking ([3]).
7. Voor de beoordeling van de veiligheid is uitgegaan van een bezwijkkans van 10^{-5} en komt overeen met veiligheidsklasse 1 en Sicherheitsklasse A volgens [3] respectievelijk [2].
8. Het beoordelingscriterium volgens [3] gaat uit van partiële belastingsfactoren; in dit geval:
$\Sigma\sigma = 1.25 \cdot 2.42 + 1.10 \cdot 1.45 + 1.05 \cdot 0.19 + 1.05 \cdot 0.17 = 5.0\ N/mm^2$.
9. [3] beperkt zich tot betonnen (dus stijve) buizen. De beoordeling geschiedt volgens [2]. Gelet op de aanpassing van de berekening van de belastingen behoeven de veiligheidsfactoren een bijstelling in gunstige zin.

Legenda bij rekenvoorbeeld:

c, c*, ceg, cv1	= momentcoëfficiënten
ch1, ch2, cv1, cv2	= vervormingscoëfficiënten
Dm, rm	= gemiddelde diameter, straal
I	= traagheidsmoment buiswand
K*	= flexibiliteitsconstante
n, n*, neg, nv1	= normaalkrachtcoëfficiënten
Pgem	= gemiddelde Boussinesq-belasting halverwege de buis
Qeg	= eigen gewicht buis
qhg, qhv	= horizontale grond/verkeersbelasting
qhg*, qhv*	= horizontale steundruk ten gevolge van het ovaliseren van de buis
qvg, qvv	= verticale grond/verkeersbelasting
qv, krit	= kritische verticale belasting
s	= stootfactor
Sbh	= horizontale beddingsstijfheid
SR	= ringstijfheid
VRB	= systeemstijfheidsverhouding
Vs	= stijfheidsverhouding
Vs1, Vs1'	= stijfheidsverhouding waarbij Vs = 1.0
W	= weerstandsmoment buiswand
γb	= veiligheidsfactor voor breuk
γg	= soortelijk gewicht grond
γj	= partiële belastingfactor
γm	= soortelijk gewicht materiaal
γs	= veiligheidsfactor voor stabiliteit
γw	= soortelijk gewicht water (= buisvulling)
δ_v	= relatieve vervorming
λo	= concentratiefactor waarbij Vs = 0
λvg, λhg, λvv	= concentratiefactoren grond/verkeersbelasting
ξ	= vereffeningscoëfficiënt
σ	= spanning

Rekenvoorbeeld buisdoorsnedeberekening volgens ATV A127/CUR-VB 122 (1)

				dim	Beton	PVC klasse 34		
					spanning	spanning	vervorming	
							t = o jaar	t = 50 jaar
INVOERGEGEVENS	 Afb. 9. - *buis in de grond*	Buis:	inwendige diameter	Di	mm	500	470.8	470.8	470.8
			wanddikte	e	mm	65	14.6	14.6	14.6
			ringbuigtreksterkte	σ rbt	N/mm²	6.0 (6.4)	90.0	-	-
			elasticiteitsmodules	E	N/mm²	30000	3600	3600	1750
			soortelijk gewicht	γ m	kN/m³	24	13.8	-	-
		Uitvoering:	dekkingshoogte	H	m	2.0	2.0	2.0	2.0
			grondwaterstand	Hw	m	nvt	nvt	nvt	nvt
			verkeersklasse (2)			VOSB 30	VOSB 30	VOSB 30	VOSB 30
			opleghoek (3)	$2\alpha k$		30°	60°	180°	180°
			aanname: B = ∞, a = 1.0						
		grond:	vervormingsmoduli:	E1	N/mm²	4.0	4.0	4.0	4.0
				E2	N/mm²	4.0	4.0	2.67	2.67
				E3	N/mm²	4.0	4.0	4.0	4.0
				E4	N/mm²	12.0	12.0	12.0	12.0
			spanningsfactor	K2		0.2 (0.5)	0.2	0.2	0.2
			soortelijk gewicht	γ g	kN/m³	20	20	20	20

			Beton spanning	PVC spanning	PVC vervorming t = o jaar	PVC vervorming t = 50 jaar
BEREKENING	**Belastingen:**					
	grond: $qvg = \lambda vg \cdot \gamma g \cdot H$	kN/m²	54.75 (54.75)	47.48 (47.48)	52.05 (52.05)	50.42 (50.42)
	$qhg = \lambda hg \cdot \gamma g \cdot H$	kN/m²	7.02 (17.54)	7.50 (7.50)	7.19 (7.19)	7.31 (7.31)
	$qhg^* = K^* (qvg - qhg)$	kN/m²	0.65 (0.56)	44.27 (44.27)	34.92 (34.92)	41.78 (41.78)
	volgt uit: $\lambda vg = \dfrac{\lambda vg,max\ Vs + \frac{Vs1}{1-\lambda o} \cdot \lambda o \cdot (\lambda vg,max - 1)}{Vs + \frac{Vs1}{1-\lambda o} \cdot (\lambda vg,max-1)}$		1.369	1.19	1.30	1.26
	$\lambda hg = \dfrac{K2 \cdot (4-\lambda vg)}{3}$		0.175 (0.439)	0.19	0.18	0.18
	$\lambda vg,max = 1.0 + \dfrac{a \cdot E1/E2 \cdot H/Du}{4.0 + 2.4 \cdot E1/E4 + (0.55 + 1.88 \cdot E1/E4) \cdot H/Du}$		1.372	1.42	1.63	1.63
	$Vs = \dfrac{a \cdot SR}{\lvert cv^* \rvert \cdot E2}$		67.7	0.48	0.73	0.57
	$\lambda o = \dfrac{4 \cdot K2}{3 + K2}$		0.25 (0.57)	0.25	0.25	0.25
	$Vs1 = \dfrac{1-K2}{1 - \frac{E2}{4a \cdot E1}}$		1.067 (0.67)	1.067	0.96	0.96
	$SR = \dfrac{EI}{rm^3}$ $(I = 1/12\ e^3)$	N/mm²	30.45	0.065	0.065	0.032
	$cv^* = cv1 + K^* \cdot cv2$ (coëfficiënten zie tabel 1)		-0.112	-0.034	-0.033	-0.021
	$K^* = \dfrac{ch1}{VRB - ch2}$		0.0085	1.107	0.778	0.969
	$VRB = \dfrac{SR}{Sbh} = \dfrac{SR}{0.6 \cdot \xi \cdot E2}$ (B (B = ∞ → ξ = 1.0) (4)		12.29	0.027	0.041	0.020
	verkeer (5): $qvv = \lambda vv \cdot Pgem \cdot s$ (s = 1.4)	kN/ m²	27.69 (12.35)	21.63 (12.30)	23.97 (12.30)	22.88 (12.30)
	$qhv = 0$ (aanname)	kN/m²	0.0	0.0	0.0	0.0
	$qhv^* = K^* \cdot qvv$	kN/m²	0.24 (0.11)	23.94 (13.62)	18.66 (9.58)	22.17 (11.92)
	$\lambda vv = \dfrac{\lambda vv,max\ Vs + \frac{Vs1'}{1-\lambda o} \cdot \lambda o \cdot (\lambda vv,max - 1)}{Vs + \frac{Vs1'}{1-\lambda o} \cdot (\lambda vv,max-1)}$		1.71 (-)	1.28 (-)	1.42 (-)	1.36 (-)
	$\lambda vv,max = 1.0 + \dfrac{2a \cdot E1/E2 \cdot H/Du}{0.65 + \sqrt{(2.6 \cdot a \cdot E1/E2 + 3.9 \cdot E1/E4) \cdot H/Du} + (0.5 + 3.0 \cdot E1/E4) \cdot H/Du}$		1.71 (-)	1.75 (-)	2.07 (-)	2.07 (-)
	$Pgem$ = (ATV: Pv =)	kN/m²	11.73 (12.35)	12.06 (12.30)	12.06 (13.30)	12.06 (12.30)
	$Vs1' = 1 - K2$ (6)		0.80 (-)	0.80 (-)	0.80 (-)	0.80 (-)
	Momenten, normaalkrachten en spanningen in zool buis: (coëfficiënten in tabel 2)					
	grond: $M = c \cdot (qvg - qhg) \cdot Dm^2 + c^* \cdot qhg^* \cdot Dm^2$	kNm/m	1.78 (1.38)	0.42 (0.42)		
	$N = n \cdot (qvg - qhg) \cdot Dm - 0.5 \cdot qhg \cdot Dm + n^* \cdot qhg^* \cdot Dm$	kN/m	-3.37 (-6.07)	-8.81 (-8.81)		
	$\sigma = M/W + N/A = 6\ M/e^2 + N/e$	N/mm²,m	2.42 (1.87)	10.50 (10.50)		
	verkeer: M =	kNm/m	1.04 (0.46)	0.23 (0.13)		
	N =	kN/m	-0.81 (-0.34)	-3.77 (-1.96)		
	σ =	N/mm²,m	1.45 (0.65)	5.82 (3.51)		
	eigengewicht: $Meg = ceg \cdot Qeg \cdot Dm$ $(Qeg = \gamma.m.\pi.e^2.(Du/e-1))$	kNm/m	0.14 (0.14)	0.01 (0.01)		
	$Meg = neg.Qeg$	kN/m	-0.21 (-0.21)	-0.02 (-0.02)		
	σ =	N/mm²,m	0.19 (0.19)	0.3 (0.3)		
	buisvulling: $Mvl = cvl \cdot \gamma w\ Dm^2.\ Di$ $(\gamma w = 10\ kN/m^3)$	kNm/m	0.11 (0.11)	0.06 (0.06)		
	$Nvl = nvl \cdot \gamma w\ Dm.\ Di$	kN/m	0.89 (0.89)	0.74 (0.74)		
	σ =	N/mm²,m	0.17 (0.17)	1.74 (1.74)		
BEOORDELING	**Beoordeling** (aangenomen bezwijkkans $Pf = 10^{-5}$ (7)):					
	Breuk (8): CUR: $\dfrac{\sigma rbt}{1.1} - \sum \gamma j \cdot \sigma j \geq 0$ $(\gamma_1 = 1.25,\ \gamma_2 = 1.1, \gamma_{3,4} = 1.05)$		0.5 (voldoet)			
	ATV: $\dfrac{\sigma rbt}{\Sigma^{\sigma}} \geq 0\ \gamma b$: BETON: $\gamma b = 2.2$ PVC: $\gamma b = 2.5$		2.2 (voldoet)	4.9 (5.6)		
	Vervorming: ATV (9): $\delta_v = \dfrac{cv^* (qv - qh)}{SR}\ 100\% \leq 6\%$		nvt	nvt	3.5% (2.9%)	4.3% (3.6%)
	Stabiliteit: ATV (9): $\dfrac{qv,krit}{qv} = \dfrac{2\sqrt{SR \cdot Sbh}}{qv} \geq \gamma s$ PVC: $\gamma s = 2.5$		nvt	nvt	8.5 (10.0)	6.2 (7.2)

spanning overschrijden en of voor de meer flexibele buizen de stijfheid van de grondconstructie in relatie tot de belasting niet te laag (te grote vervorming) of te hoog (implosie) is. Het moge duidelijk zijn, dat de aan te nemen grenstoestanden sterk materiaalgebonden zijn met de overeenkomstige gevolgen voor de te hanteren veiligheidsfactoren. Hierbij is er een tendens, de 'totale veiligheid' op te splitsen in veiligheidsfactoren voor de uiteenlopende belastingen en het materiaal. Deze differentiatie sluit goed aan bij het probabilistische karakter van zowel de belasting als de materiaalsterkten.

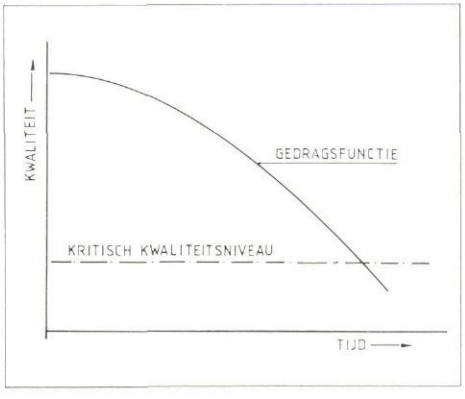
Nog afgezien van de kritische aanvullingen van het CUR-rapport aan het adres van de ATV A127 ten aanzien van de afleiding van de verkeersbelasting en het oneigenlijk gebruik van de grondmechanische grootheid K2 (= verhouding tussen verticale en horizontale korrelspanning) als ijkparameter, resteert als probleem de voor alle rekenmethoden geldende complicatie van de aan te nemen grondparameters. Discutabel is bovendien de grootte van de opleghoek. Deze heeft namelijk een grote invloed op de te berekenen spanningen en vervormingen en is afhankelijk van de stijfheid van het buismateriaal. Dit gegeven is in de ATV A127 slechts terug te vinden in het vervormingscriterium. Richtlijnen voor de aan te nemen initiële opleghoek ontbreken.

3.4. *Beoordeling toepasbaarheid*

Een financieel-economische afweging bepaalt de uiteindelijke keuze. De hierbij horende berekening omvat niet alleen de investeringskosten, maar vooral ook de kosten van het functioneren in de tijd. Deze tijdafhankelijke kosten hangen nauw samen met de door een leiding te vervullen functies, zoals:

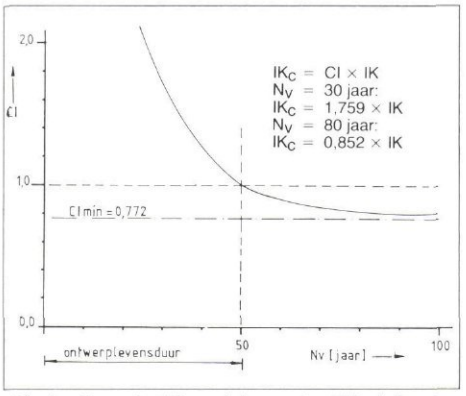
- capaciteit: wordt beïnvloed door een toename van de hydraulische weerstand;
- vloeistofdichtheid: lekkage kan bijvoorbeeld ontstaan door aantasting en verschuiving van de verbinding;
- draagvermogen: hangt samen met de afname van de veiligheidsmarge door aantasting en veroudering van het buismateriaal in relatie tot het belastingpatroon.

Afb. 7 - Kwaliteit als functie van de tijd.



Voor de kostprijsberekening is daarom het functieverloop in de tijd interessant (afb. 7). Het niet meer voldoen aan een vereist kwaliteitsniveau van een bepaalde functie heeft tot gevolg, dat ingrijpen en daarmee het maken van kosten noodzakelijk is. Hierbij kunnen we nog onderscheid maken tussen het overschrijden van een kritisch kwaliteitsniveau van de gebruikstoestand of een uiterste toestand (bezwijken). Het laatste resulteert veelal in vervanging.
Het tijdstip van overschrijding van een kritische waarde bepaalt de functieduur. Voor de levensduur is het tijdstip van bezwijken bepalend. De kwaliteit van een leiding in de tijd kan aldus gerelateerd worden aan de faalfrequentie van de verschillende functies.
Naarmate de faalfrequentie voor een gegeven omstandigheid hoger is, zullen de kwaliteit en dientengevolge de exploitatiekosten respectievelijk af- en toenemen.
De keuze berust op een afweging van de kosten van de naar verwachting voorkomende kwaliteit ten opzichte van hetgeen vereist danwel gewenst is. Daarbij dienen deze kosten in een redelijke verhouding te staan tot de kosten van investering. Een op deze wijze 'gewogen' prijs/kwaliteitverhouding is dus een criterium voor het kiezen van de gunstigste oplossing.

De kwaliteit komt, zoals gesteld, tot uitdrukking in een levensduur en de mate van onderhoud om een zeker kwaliteitsniveau te waarborgen. Een belangrijke kostenbepalende factor bij een kostprijs op jaarbasis is de afschrijving van de investering. Bij de vergelijking zijn de verwachte levensduren van verschillende materiaaluitvoeringen gerelateerd aan een ontwerplevensduur en is de afschrijving berekend op grond van het annuïteitenbeginsel (vergelijk aflossing hypotheek). Een eventuele restlevensduur na de ontwerptermijn wordt door het contant maken van de dan nog resterende afschrijving (= restwaarde) naar het laatste moment van investeren voor het verstrijken van de ontwerplevensduur verdisconteerd in de initiële investering. De gecorrigeerde investering wordt afgeschreven gedurende de aangenomen ontwerplevensduur. Dit principe levert voor een ontwerplevensduur van 50 jaar en een reeël rentepercentage van 3% (= marktrente – inflatie) de grafiek in afb. 8 op. Deze grafiek geeft de correctie op de investering weer als functie van een verwachte levensduur. De economische winst van hogere verwachte levensduren dan de aangenomen 50 jaar blijft zodoende beperkt tot maximaal 23% van de investeringskosten. Kortere levensduren hebben daarentegen een veel grotere invloed op de correctie: bij een verwachte levensduur van 30 jaar is het verlies 75%.



Afb. 8 - Correctie (CI) op de investering (IK) als functie van de verwachte levensduur (N_v) ten opzichte van een ontwerplevensduur van 50 jaar (reële rente = 3%).

Naast de kapitaalslasten spelen vooral de exploitatiekosten een belangrijke rol in de financiële afweging. Het achterwege laten van een investering in kwaliteit zal tot uiting komen in de mate van onderhoud. Nu is het echter de vraag in hoeverre goedkoop duurkoop is. Het accepteren van een zekere mate van extra onderhoud kan namelijk opwegen tegen een kwalitatief betere oplossing met navenant minder onderhoud. De aangegeven 'gewogen' prijs/kwaliteitverhouding kan hierbij uitkomst bieden.

4. **Materialen**

De toenemende bewustwording van het belang van een meer systematisch beheer van (openbare) rioleringen heeft direct gevolgen voor de inzetbaarheid van materialen.
Bij inspecties van de huidige stelsels wordt namelijk geregeld aantasting van beton [lit. 5] ten gevolge van de biochemische omzetting van H_2S in zwavelzuur – Biogene Zwavelzuuraantasting, BZA – geconstateerd.

Hoewel deze corrosievorm plaatsgebonden is en de mate van aantasting in situ moeilijk vast te stellen is, zijn er ontwikkelingen met betrekking tot ontwerp en afvalwater, die aandacht behoeven:

- aanpassing van rioolstelsels aan strengere eisen van waterkwaliteitsbeheerders met betrekking tot overstortfrequenties;
- toename van zuurstofbindende verontreinigingen (hogere BZV/CZV);
- toename temperatuur;
- toename van de hoeveelheid zwavelhoudende stoffen.

Deze overwegingen hebben tot gevolg, dat de condities voor de toepassing van vooral cementachtige materialen als corrosiebescherming minder gunstig worden.
Tegen deze achtergrond gaan ook andere materialen dan beton en asbestcement een

rol spelen in de materiaalkeuze. Indien actieve maatregelen ter beperking van het aantastingsgevaar onvoldoende effect sorteren, komen andere, resistentere materialen, zoals polyetheen, glasversterkte kunststoffen (GVK) en gres voor de constructie van leidingen met diameters groter dan 400 mm, in aanmerking.
De toepassing van andere constructieve materialen is echter niet de enige manier om het hoofd te kunnen bieden aan mogelijk aantastingsgevaar. Een andere mogelijkheid van corrosiebescherming is de toepassing van bekledingen. Vooral de ontwikkeling op het gebied van het bekleden van buizen staat niet stil.

5. Conclusie

De in het voorafgaande beschreven selectiemethode geeft inzicht in de problemen van het kiezen van een geschikte materiaaluitvoering van een afvalwaterleiding.
De grootste complicatie bij de materiaalkeuze van rioleringen heeft betrekking op de interpretatie van de agressiviteit van het afvalwater in relatie tot het toe te passen materiaal. De hiervoor aangegeven interpretatiewijze is daarom geschikt, omdat men niet alleen attent gemaakt wordt op eventuele restricties, maar dat deze voorwaarden ook terug te vinden zijn.
Nadere studie is noodzakelijk om in combinatie met de uitwerking van de voorwaarden een relatie te kunnen leggen tussen een resistentiescore en een te verwachten levensduur.

Doel van de geschetste aanpak is de realisatie van een kwaliteitsbewust ontwerp.
Ontwerpen dient namelijk niet alleen gericht te zijn op het daadwerkelijk aanleggen van een leiding, maar vooral ook op de gebruiksfase. Dit betekent, dat de kosten van het functioneren van een leiding in de tijd gerelateerd moeten worden aan de kosten van investering. Uit een prijs/kwaliteitverhouding moet namelijk blijken of een investering in kwaliteit verantwoord is.
Hierbij is een weging van de verwachte kwaliteit ten opzichte van een vereiste danwel gewenste kwaliteit als referentie noodzakelijk.

Naarmate objectieve informatie in de vorm van normen, richtlijnen, onderzoekingen ontbreekt, gaan subjectieve ervaringen een belangrijkere rol spelen. Omdat nu a priori verwachtingen uitgesproken moeten worden is rationalisatie van deze op onzekerheden gebaseerde uitspraken noodzakelijk.
De stochastiek is hiervoor een hulpmiddel. Essentieel is echter wel dat posteriori (vergelijk Bayesiaans kansbegrip) de verwachtingen gestaafd worden aan de ervaringen voortkomend uit beheersystemen.

Literatuur

1. Leonhardt, G. (1979). *Die Erdlasten bei überschütteten Durchlässen.* Die Bautechniek, 56. Jahrgang Heft 1, Berlin.
2. Arbeitsblatt A127 (1984). *Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanäle und -leitungen.* Abwassertechnischen Vereinigung St. Augustin.
3. CUR-VB rapport 122 (1985). *Buizen in de grond.* Betonvereniging Zoetermeer.
4. Nederlandse Praktijkrichtlijn, NPR 3218 (1984). *Buitenriolering onder vrij verval.* Aanleg en onderhoud, NNI Delft.
5. Snaterse, C. (1987). *Sulfide en aantasting van cementgebonden riolen.* H_2O (20), nr. 19.
6. Haan, Y. M. en Bijen, J. M. J. M. e.a. (1986). *Behoud en onderhoud constructies.* Collegedictaat u7, TU Delft.
7. Ganzevles, P. P. G. (1987). *Materiaalkeuze afvalwaterleidingen*.* Afstudeerrapport TU Delft/Heidemij Adviesbureau B.V.

* Binnenkort verkrijgbaar als mededeling no. 16 van de vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, TU Delft.

• • •

IAWR-president overleden

In Hamburg is op 25 februari jl. plotseling overleden dipl.-ing. H. Winter, voorzitter van de ARW, Vorstandssprecher van het Gas-, Elektriciteits- en Waterbedrijf van Keulen en vanaf 1 januari van dit jaar President van de Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet IAWR, in de leeftijd van 65 jaar.
De begrafenis zal plaatsvinden op vrijdag 3 maart in Keulen.

Helmond wil waterleidingbedrijf verkopen aan gasbedrijf

B en W van Helmond willen het gemeentelijk waterleidingbedrijf verkopen aan Obragas, een nutsbedrijf dat zich in Oost-Brabant bezighoudt met de verkoop van gas. De gemeente houdt aan die verkoop bijna 17 miljoen gulden over.
De verkoop zou geen gevolgen hebben voor het personeel.
Helmond loopt hiermee vooruit op het beleid van de provincie dat is gericht op een concentratie van de verschillende nutsbedrijven. Obragas beheert al jarenlang het gemeentelijk waterleidingbedrijf. Daarom lag het voor de hand om het bedrijf aan Obragas te verkopen, aldus een zegsman.
Met het geld dat Helmond aan de verkoop overhoudt worden onder meer enkele schulden afgeboekt. Bovendien wordt bijna 3,5 miljoen gulden toegevoegd aan de reserve. Per saldo houdt Helmond jaarlijks 73.000 gulden aan de transactie over. (ANP)

Nederlandse Vereniging voor Afvalwaterbehandeling en Waterkwaliteitsbeheer

NVA-symposium 'De waterverontreinigingsheffing op nieuwe wegen'

De NVA organiseert een symposium getiteld 'De waterverontreinigingsheffing op nieuwe wegen', te houden op donderdag 27 april 1989 in de congreszaal van de Bernhardhal van het Jaarbeurscomplex te Utrecht. Tijdens dit symposium zal door diverse sprekers onder meer ingegaan worden op de vraag in hoeverre het huidige stelsel van de waterverontreinigingsheffing al dan niet geschikt is om een adequaat antwoord te geven op komende ontwikkelingen (defosfatering op zuiveringsinstallaties, problematiek afzet zuiveringsslib, sanering verontreinigde waterbodems en dergelijke), die grote financiële inspanningen zullen vergen. Bezien zal daarbij worden of en zo ja, welke wijzigingen in dit heffingsstelsel zouden dienen te worden aangebracht.
Sprekers zijn onder meer:
ir. G. Blom (Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat), dr. ir. J. IJff (voorzitter Unie van Waterschappen), prof. dr. P. B. Boorsma (TU Twente), dr. ir. F. Dijkstra (DSM Kunststoffen BV) en mr. drs. H. P. A. M. van Arendonk (Erasmusuniversiteit Rotterdam).
Aanmelding voor het symposium dient te geschieden door overmaking van f 65,– (voor leden van de NVA) danwel van f 75,– (voor niet-leden) op girorekening 1008472 ten name van de NVA, postbus 70, 2280 AB Rijswijk, onder vermelding van Symposium Waterverontreinigingsheffing d.d. 27 april 1989'.
Nadere inlichtingen over het symposium zijn te krijgen bij de heer mr. H. J. M. Havekes (tel.: 070 - 51 98 18).

NVA-Workshop 'Anaërobe afbreekbaarheid van recalcitrante verbindingen

De Technische Commissie Anaërobie van de NVA zal op 20 en 21 april 1989 een 2-daagse workshop houden over het thema 'Anaërobe afbreekbaarheid van recalcitrante verbindingen'.
De anaërobe zuiveringstechniek wordt steeds breder toegepast. Daarbij wordt men in de praktijk regelmatig geconfronteerd met het probleem van de slechte afbreekbaarheid van sommige verbin-