

# Sulfide en aantasting van cementgebonden riolen

## 1. Inleiding

De financieel economische afweging aan gaande vervangen van delen van rioolstelsels of het verantwoord laten toenemen van de onderhoudskosten is voornamelijk gebaseerd op de voorspelde restlevensduur en het tijdstip waarop de technische levensduur van de leiding wordt overschreden [1]. De technische levensduur is sterk afhankelijk van de kwaliteitsvermindering van de buizen onder meer als gevolg van aantasting. Inspectie van het rioolstelsel maakt het mogelijk op grond van een adequate



ING. C. SNATERSE  
DHV Raadgevend  
Ingenieursbureau BV

beschrijving van de geconstateerde schade en met behulp van een gedragsmodel de restlevensduur te voorspellen. Daar waar aantasting de aanleiding vormt voor rioolrenovatie zal met aantasting in de toekomst rekening moeten worden gehouden. Daartoe moet het aantastingsproces worden bepaald. Op grond daarvan kan vervolgens een geschikte materiaalkeuze worden gemaakt. Voor nieuw aan te leggen rioolstelsels waarin gevaar voor aantasting dreigt geldt iets dergelijks. De grootte van een aantal factoren die de aantasting bepalen is onvoldoende bekend. In dit artikel wordt ingegaan op deze factoren. De grootte van de belangrijkste factoren zal worden beschreven.

## 2. Het aantastingsproces

In rioolstelsels kunnen zich verschillende aantastingsprocessen voordoen. Te onderscheiden zijn:

- Rechtstreekse chemische aantasting als gevolg van lozing van agressief afvalwater. Hierbij wordt het buismateriaal beneden de waterlijn aangetast. Voorbeelden hiervan zijn rechtstreekse aantasting door verschillende sulfaten, zouten van magnesium en ammonium, chloriden, agressief koolzuur, en overige zuren.
- Aantasting door schimmels (mycenen). De aantasting veroorzaakt door de groei van haarwortels verwerking van het materiaal.
- Aantasting veroorzaakt door bij hoge snelheden meegevoerd zand.
- Aantasting als gevolg van oxydatie op de buiswand van in de rioollucht aanwezige sulfiden en polysulfiden tot zwavelzuur, waarbij cementsteen wordt opgelost en/of sulfaten worden gevormd.
- Chemische aantasting door op de buiswand aanwezige sulfaten onder vorming van gips en het sterk expansieve ettringiet.
- Aantasting door corrosie van de wapening.

– Aantasting als gevolg van fysische processen als uitdroging en bevochtiging, krimp, verhitting etc.

In rioolbuizen kunnen verschillende aantastingsprocessen gelijktijdig optreden. Veruit de grootste schade bij cementgebonden rioolbuizen is een gevolg van biogene zwavelzuuraantasting. Volstaan wordt in dit artikel met een beschrijving van dit aantastingsproces.

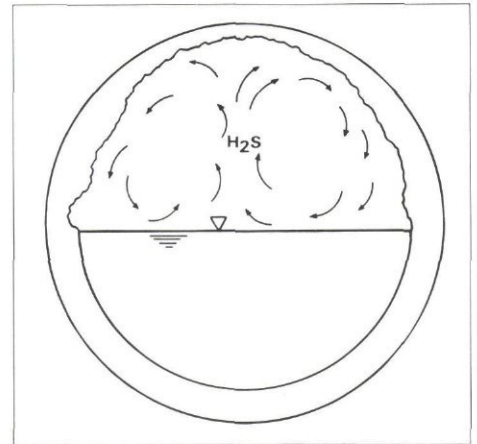
Door emissie vanuit de afvalwaterstroom komen in de rioollucht waterstofsulfide (zwavelwaterstof-  $H_2S$ ) en organische polysulfiden voor [2]. Deze sulfiden lossen op in waterdamp en komen als gevolg van condensatie van de waterdamp op de buiswand terecht. Op de vochtige buiswand zal onder invloed van bacteriën van het geslacht *Thiobacillus* het aanvankelijk alkalische milieu van het cementgebonden materiaal ( $pH > 10$ ) geleidelijk omslaan naar een zuur milieu. Als de pH tot ca. 6,5 is gedaald komen zuurvormende en zuurresistente bacteriën van het geslacht *Thiobacillus thiooxidans* tot ontwikkeling. Door deze bacteriën wordt de in het condenswater opgeloste sulfide geoxideerd tot zwavelzuur. De pH kan hierbij tot minder dan 1 dalen. Als gevolg van deze zuurvorming zal het cementsteen in de beton worden opgelost. De aantastingssnelheid van beton kan onder deze omstandigheden 3 tot 6 mm per jaar bedragen [3]. Een karakteristieke verdeling van de aantasting over de buiswand is aangegeven in afb. 1.

De intensiteit van het microbiologische aantastingsproces is te meten door het tellen van het aantal bacteriën van het geslacht *Thiobacillus* per  $cm^2$  op de buiswand [2]. Bij onderzoeken in het rioolstelsel van Hamburg is een globale relatie aangetoond tussen het aantal bacteriën, de pH in het van de buiswand druppende condenswater en de aantastings-snelheid. De relatie is aangegeven in tabel I.

De voortgang van het aantastingsproces kan niet aan de pH worden gerelateerd. De pH in het condenswater op de buiswand is namelijk sterk afhankelijk van de ouderdom van de betonbuis. Bij nieuwe rioolbuizen is de pH op de buiswand veelal  $> 9$ , terwijl onder die omstandigheden toch de voorfase van het zure aantastingsproces gaande kan zijn. Naarmate de beton verouderd, zal de pH als gevolg van inwerking van koolzuur ten gevolge van carbonatatie van het beton dalen.

TABEL I – Relatie tussen het aantal bacteriën, de pH van het condenswater en de aantastingssnelheid.

pH in condenswater	Aantal bacteriën van thiobacillus thiooxidans ( $st/cm^2$ )	Afname wanddikte beton (mm/jaar)
7,0 – 6,0	0 – $10^2$	afzanden
6,0 – 3,0	$10^3$ – $10^5$	$< 0,5$
3,0 – 1,0	$10^6$ – $10^8$	$> 0,5$



Afb. 1 – Karakteristieke verdeling aantasting over omtrek buiswand.

## 3. Het ontstaan van sulfide

In vers huishoudelijk afvalwater is onder normale omstandigheden een zekere hoeveelheid zuurstof aanwezig. Deze hoeveelheid neemt in de tijd af als gevolg van biochemisch zuurstofverbruik van aërobe bacteriën. Hierbij wordt organisch materiaal afgebroken. Tijdens dit proces wordt zuurstof toegevoerd als gevolg van reaëratie. Deze is afhankelijk van de turbulentie (omvang grensvlak water-lucht) en het zuurstof-deficiet. Onder normale omstandigheden blijft in vrijverval inzamelsystemen het water hierdoor aëroob, en stelt zich een evenwichtconcentratie in van ca. 2 à 3 mg/l [2]. In de slijmhuide op de buiswanden en in het afvalwater ontstaan als gevolg van microbiologische reductie van voornamelijk sulfaat zowel in aëroob als anaëroob afvalwater sulfiden. Bij aëroob afvalwater worden deze sulfiden in het aërobe deel van de slijmhuide op de buiswand, of in het hieraan aansluitende aërobe afvalwater tot onschadelijke verbindingen geoxideerd. Zodra de zuurstofconcentratie in het afvalwater beneden 1-0,1 mg/l daalt, ontstaat in het afvalwater anaërobie. Onder anaërobe omstandigheden ontbreekt het aërobe deel van de slijmhuide en vindt verhoging van het sulfidegehalte in het afvalwater plaats. De voor de reductie van sulfaat verantwoordelijke micro-organismen zijn aangegeven in tabel II [4].

Uit de tabel blijkt dat de reductieprocessen optreden bij temperaturen hoger dan ca. 10 °C. De optimale temperatuur ligt bij ca. 35 °C. De optimale zuurgraad ligt bij een pH van ca. 7,2. Bij een pH lager dan ca. 6,0 zal geen reductie van zwavelverbindingen plaatsvinden.

De pH van normaal huishoudelijk afvalwater is ongeveer 7,0-7,5. De temperatuur van het afvalwater is seizoen-afhankelijk en varieert van 8 tot 22 °C. Dit betekent geenszins dat beneden temperaturen van 8°C, of bij een pH lager dan 6 geen problemen zijn te ver-

TABEL II – *Sulfaat reducerende micro-organismen.*

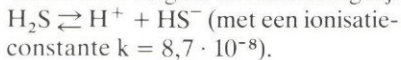
Genera	pH		Temperatuur (°C)	
	grenzen	optimum	grenzen	optimum
1. <i>desulfobacter</i>	5,8 – 8,5	7,3	10 – 37	32
2. <i>desulfobulbus</i>	6,0 – 8,6	7,2	10 – 43	39
3. <i>desulfococcus</i>	6,7 – 7,9	7,3	15 – 40	35
4. <i>desulfonema</i>	6,6 – 8,8	7,6	15 – 37	32
5. <i>desulfosarcina</i>	6,7 – 8,0	7,4	15 – 38	33
6. <i>desulfotomaculum</i>	6,6 – 7,6	7,1	30 – 35	36
7. <i>desulfovibrio</i>	5,4 – 9,3	7,1	15 – 39	34

wachten. De sulfide kan immers elders in het systeem zijn ontstaan. De reductie vindt plaats volgens de reactievergelijking:



waarbij afhankelijk van het geslacht van het micro-organisme meer dan 25 verschillende koolstofbronnen kunnen worden benut, welke alle in het rioolwater kunnen voorkomen (hogere en lagere vetzuren, lactaat, lagere alcoholen, enz.).

De sulfide is afhankelijk van de pH gedissocieerd volgens de reactievergelijking:



De fractie van HS<sup>-</sup> en H<sub>2</sub>S als functie van de pH is aangegeven in afb. 2 [5].

Alleen het moleculaire H<sub>2</sub>S is als gasvormig element potentieel schadelijk, en kan via diffusie in de rioollucht boven de waterspiegel terechtkomen. De mate waarin de H<sub>2</sub>S in de rioollucht terechtkomt is afhankelijk van de grootte van het fasegrensvlak water-lucht. Bij een sterk turbulent oppervlak kan de H<sub>2</sub>S-emissie het acht- tot tienvoudige zijn van de emissie bij rustig stromend water.

Naast zwavelwaterstof bevat afvalwater andere gasvormige verbindingen welke eveneens door diffusie in de rioollucht terecht kunnen komen. Tot deze verbindingen behoren:

- organische sulfiden: methylmercaptaan en dimethylsulfide. Beide verbindingen ontstaan uit de afbraak van methionine;
- organische polysulfiden: dithiabutaan, trithiapentaan en tetrathiahexaan.

Deze stoffen ontstaan direct of indirect via de oxydatie van dimethylsulfide uit methionine. De organische sulfiden kunnen zowel onder aërobe als onder anaërobe omstandigheden ontstaan. Op plaatsen met aantasting in betonnen vrijvervalleidingen zijn in de rioollucht altijd concentraties met organische sulfiden gemeten. De concentraties varieerden tijdens de metingen van 0,03 tot 0,5 ppm. Er doen zich de laatste jaren een aantal ontwikkelingen voor die de problematiek in negatieve zin beïnvloeden.

#### 4. Tendensen met betrekking tot biogene zwavelzuuraantasting

Bij het bepalen van de kwaliteit van rioolstelsels wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van inspectietechnieken voor onderzoek van het inwendige van de leiding.

Veelvuldig wordt daarbij ernstige aantasting van de buiswanden geconstateerd. Het is van belang vast te stellen welke het toekomstige verloop van de aantasting zal zijn. Teneinde enig inzicht in het verloop te krijgen is het zinvol na te gaan welke ontwikkelingen zich met betrekking tot van belang zijnde aspecten zoals het ontwerp van rioolstelsels en de aard van het afvalwater zullen voordoen.

Ontwikkelingen met betrekking tot het ontwerp zijn:

- a. Regionalisatie van afvalwaterbehandeling.
- b. Aanleg van drukrioleringsystemen.
- c. Aanpassing van rioolstelsels ingevolge richtlijnen van de zijde van waterkwaliteitsbeheerders.

Ontwikkelingen in de aard van het afvalwater:

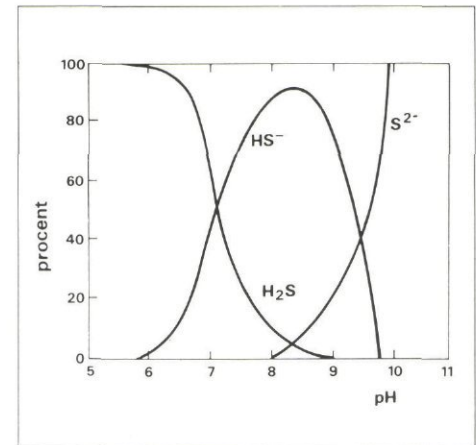
- d. Toename van het aandeel van zuurstofbindende verontreinigingen.
- e. Toename van de gemiddelde afvalwatertemperatuur.
- f. Toename van de hoeveelheid zwavelhoudende stoffen in het afvalwater.

#### Ad. a. Regionalisatie van afvalwaterbehandeling

Zuiveringsinstallaties zijn over het algemeen regionale voorzieningen. Locale installaties zijn de laatste jaren buiten bedrijf gesteld. Het gevolg hiervan is, dat afvalwater over grotere afstanden moet worden getransporteerd. Dit transport kan plaatsvinden door grote transportriolen, die niet zelden ook voor bergingsdoeleinden worden gebruikt, of door persleidingssystemen.

Voordat het afvalwater het transportsysteem bereikt, heeft het meestal een vrij lange verblijftijd in het rioolstelsel achter de rug. Dit temeer als in het achterliggende rioolstelsel ook onderbemalingen zijn opgenomen. Daardoor is de zuurstofconcentratie in het afvalwater bij lozing op het transportsysteem laag. Een geringe verblijftijd van het afvalwater in het transportsysteem heeft, zowel bij vrijvervalleidingen als bij persleidingen anaërobie tot gevolg.

Bij vrijvervalleidingen vindt nog enige reaëratie plaats, echter, omdat meestal vrijwel geen woningen op dergelijke rioolleidingen zijn aangesloten, is de ventilatie in het stelsel ontoereikend om opbouw van sulfide in de rioollucht te voorkomen. Bij persleidingen is het afvalwater volledig afgesloten van zuurstoftoevoer, zodat een



Afb. 2 - Evenwicht tussen HS<sup>-</sup> en H<sub>2</sub>S als functie van de pH.

aanzienlijke opbouw van sulfide in het afvalwater het gevolg zal zijn.

Ad. b. Aanleg van drukrioleringsystemen  
Met name de afgelopen 5 jaar zijn onder invloed van subsidiemogelijkheden binnen de verfijningsuitkering, versneld buitengebieden gerioleerd, waarbij voornamelijk gebruik is gemaakt van drukrioleringsystemen. Het afvalwater verblijft in deze systemen gedurende soms 2 tot 3 etmalen onder anaërobe omstandigheden, zodat een volledige reductie van alle zwavelverbindingen kan optreden. De op een dergelijke wijze gerioleerde gebieden hebben veelal een agrarisch karakter. Klandestiene lozingen van bijvoorbeeld gier kunnen niet worden uitgesloten. Gier bevat extreme hoeveelheden zuurstofbindende stoffen en, afhankelijk van de aard van het gier, soms zeer grote hoeveelheden zwavelverbindingen.

Ad. c. Aanpassing van rioolstelsels ingevolge richtlijnen van waterkwaliteitsbeheerders

Om te voldoen aan richtlijnen van waterkwaliteitsbeheerders met betrekking tot toelaatbare overstortingsfrequenties en minimale berging in het rioolstelsel zijn dikwijls grote riolen aangelegd. De hydraulische omstandigheden van deze riolen in droogweelperiodes zijn in relatie tot sulfide-ontwikkeling uiterst nadelig. Lozing van afvalwater vanuit drukrioleringsystemen op het vrijvervalrioelstelsel resulteert vrijwel in alle gevallen in aantastingsverschijnselen en meestal ook in ernstige stankoverlast.

Ad. d. Toename van het aandeel van zuurstofbindende stoffen

Het aantal op de riolerings aangesloten industrieën is de laatste jaren sterk toegenomen. De vervuilinggraad van industrieel afvalwater is dikwijls vele malen groter dan die van huishoudelijk afvalwater. Bovendien

is het water vaak agressiever, zodat bij lagere pH het moleculaire aandeel van de sulfide toeneemt. Ook de vervuilinggraad van het huishoudelijk afvalwater neemt de laatste jaren toe als gevolg van een gewijzigd consumptief gedrag.

De toename van het zuurstofbindend vermogen van het afvalwater resulteert in het sneller ontstaan van anaërobie.

Ad. e. Toename van de gemiddelde afvalwatertemperatuur

Een toenemend warmwaterverbruik, alsmede de vaak hoge temperatuur van industrieel afvalwater, hebben geleid tot een stijging van de gemiddelde afvalwatertemperatuur. De gevolgen hiervan zijn:

- een geringer oplosend vermogen van zuurstof in het afvalwater;
- een hogere biologische activiteit van micro-organismen waardoor een snellere zuurstofuitputting en versnelde sulfidevorming in het afvalwater optreedt;
- een versnelling van de aantasting.

Ad. f. Toename van de hoeveelheid zwavelhoudende stoffen in het afvalwater

De maximale hoeveelheid sulfide die kan ontstaan hangt af van de hoeveelheid zwavelverbindingen in het afvalwater.

Zwavelverbindingen komen in het afvalwater voor als gevolg van:

- Lozing van fecale stoffen en urine.
- Gebruik van chemicaliën in de huishouding en in de industrie.
- Organische verontreinigingen van specifieke industriële afvoeren.
- Drinkwater.

De hoeveelheden zwavel in het afvalwater nemen de laatste jaren sterk toe. De verwachting is een nog verdere toename als gevolg van een zich wijzigend voedingspatroon, een toename van het gebruik van synthetische wasmiddelen en de effecten van zure regen op het zwavelgehalte in het grondwater.

### 5. Kwantificering zwavelbronnen en grenswaarden

De ernst van de te verwachten aantasting kan worden gerelateerd aan de maximale sulfidehoeveelheid in de vorm van het moleculaire  $H_2S$  welke kan ontstaan. Afgezien van bepaalde soorten industrieel afvalwater (papierindustrie, slachterijen, bepaalde voedingsmiddelenbedrijven, leerlooierijen, enz.), zijn de belangrijkste hoeveelheden zwavel aanwezig in:

- de wasmiddelen,
- het drinkwater,
- de fecaliën.

Het aandeel van elk van deze bronnen in de totale sulfideproductie kan globaal worden bepaald, waarbij tevens kan worden aangegeven hoe de hoeveelheid zich in de tijd zal ontwikkelen.

TABEL III – Bestanddelen van synthetische anionactieve wasmiddelen.

Element	Functie	Bestanddelen	Formule
detergent	binding vuil door verlagen oppervlakte-spanning	alkylbenzolsulfonaat alkansulfonaat alkoholethersulfaat	R-SO <sub>3</sub> -H
bleekmiddel	bleken via werkzame zuurstof	perboraat persulfaat	
vrij alkali	verhogen waseffectiviteit	alkalidroxiden	NaOH Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
wasverzachter/ ontharder	voorkomen kalkaanslag	polyfosfaten carboxymethylsuccinaat (bevat natriumsulfaat) natriumaluminiumsilicaat (NAS) nitrilotriazijnzuur (NTA)	* * *
enzymen	verhogen waseffectiviteit	enzymen	R-HS HS-R-SO <sub>3</sub> H
hydrotopen	verhogen oplosbaarheid wasmiddel	natriumcumolsulfonaat natriumtoluolsulfonaat	

\* = fosfaatvervangers

#### 5.1. Wasmiddelen

De in de Nederlandse huishoudens gebruikelijke wasmiddelen zijn in hoofdzaak anionactieve synthetische produkten. De bestanddelen van deze produkten zijn aangegeven in tabel III.

Uit de tabel blijkt dat een groot aantal zwavelhoudende verbindingen voorkomt.

Voor een drietal groepen wasmiddelen is onderzoek verricht naar de sulfaat- en totale zwavelconcentraties. De resultaten zijn aangegeven in tabel IV.

Ongeveer 75% van de gebruikte wasmiddelen bestaat uit enzymatische produkten.

Het verbruik van deze produkten is ten opzichte van 1975 verdubbeld.

Indien het verbruik van wasmiddelen wordt gelijkgesteld aan de Nederlandse productie, bedraagt het wasmiddelenverbruik per hoofd van de bevolking in Nederland ca. 10,7 kg per jaar (West-Duitsland ca. 11,8 kg [3]). Uitgaande van dit verbruik en de zwavelhoeveelheden van tabel III, wordt per jaar per hoofd van de bevolking ca. 460-1.500 gr zwavel op het riool aangevoerd, waarvan 455-1.460 gr bestaat uit zwavel uit sulfaten. Bij een gemiddeld waterverbruik van 120 l per inwoner per etmaal, betekent dit een gemiddelde concentratie zwavel in het afvalwater van 10 tot 34 mg/l. Opgemerkt dient te worden dat uitgegaan is van een gemiddeld waterverbruik per etmaal en een gemiddeld jaarverbruik van wasmiddelen. Lokaal kunnen als gevolg van de traditionele 'wasdag' grote afwijkingen optreden van deze gemiddelde waarden. In verband met de reductie van de fosfaatbelasting op oppervlaktewateren is het beleid erop gericht in 1987 te komen tot fosfaatvrije wasmiddelen. Niet waarschijnlijk is dat de fosfaatverwijdering de wasmiddelenamenstelling zodanig wijzigt, dat tevens een vermindering van de sulfaathoeveelheden zal optreden.

#### 5.2. Drinkwater

Drinkwater bevat afhankelijk van de plaats van het wingebied in meerdere of mindere

TABEL IV – Zwavelconcentraties in wasmiddelen.

Omschrijving	pH*	(gr per kg poeder)	
		sulfaat	totaal zwavel
1. synthetische wasmiddelen			
I	11,2	270	93
II	11,6	190	67
III	11,0	130	43
IV	11,4	150	53
2. biologisch wasmiddel		410	140
3. fosfaatvrij wasmiddel		130	44

\* pH gemeten in voorgeschreven oplossing.

mate sulfaat. De sulfaatconcentratie kan variëren van ca. 10 mg/l tot meer dan 100 mg/l. Een globale verdeling van de sulfaathoeveelheden in het Nederlandse drinkwater, gebaseerd op gegevens verzameld bij de verschillende drinkwaterpompstations, is aangegeven in afb. 3 [6]. Uit een onderzoek bij een aantal drinkwaterpompstations blijkt een verdubbeling van de sulfaatconcentratie over de periode 1968-1981 [7]. Uit hetzelfde onderzoek kan worden afgeleid, dat de gemiddelde sulfaatconcentraties stijgen van 33 mg/l thans tot 53 mg/l in het jaar 2000 en tot 79 mg/l in het jaar 2025. Deze waarden liggen alle beneden de maximaal toegestane waarde volgens de EEG-richtlijn 'kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd drinkwater' d.d. 15-7-1980 van 150 mg/l, maar ruimschoots boven een streefwaarde van 25 mg/l. De oorzaak van deze stijging moet worden toegeschreven aan de toegenomen zwaveldioxide-emissie in de atmosfeer en de zure regen die hiervan het gevolg is, alsmede aan effecten die een gevolg zijn van overbemesting [8]. Volgens de reactievergelijking in paragraaf 3 is maximaal 96 gram sulfaat omzetbaar in 32 gram sulfide. Uitgaande van de huidige waarden van de sulfaatconcentraties in het drinkwater kan hieruit ca. 3-40 mg/l sulfide (uitgedrukt als S) ontstaan.

#### 5.3. Fecaliën

Faeces en urine bevatten diverse eiwitten uit niet of gedeeltelijk verteerde etensresten. Deze eiwitten bevatten zwavel (cysteïne,

methionine, enz.). De hoeveelheid zwavel in het afvalwater neemt de laatste decennia toe als gevolg van een zich wijzigend voedingspatroon waarin meer eiwitrijke voedingsmiddelen worden verbruikt. Met name de vleesconsumptie is, naast die van melk en melkproducten, sterk toegenomen. In West-Duitsland is het eiwitverbruik betrokken op de hoeveelheid zwavel toegenomen van 350 gr per jaar per hoofd van de bevolking in de jaren vijftig tot 450 gr thans [3]. Aangenomen mag worden dat het voedingspatroon in West-Duitsland niet wezenlijk afwijkt van de Nederlandse situatie. Bij een waterverbruik van ca. 120 l per inwoner per dag bedraagt de hoeveelheid zwavel in het afvalwater uitgaande van een verbruik van 450 gr zwavel per jaar per inwoner ca. 10 mg/l.

#### 5.4. Totalen en grenswaarde

De maximale sulfideconcentratie die onder anaërobe condities bij een voldoende lange verblijftijd kan ontstaan, kan worden berekend en is aangegeven in tabel V. De gemiddelde waarde is ca. 50 mg/l. Opgemerkt wordt dat met name de sulfideconcentratie in het afvalwater als gevolg van de toename van de hoeveelheid sulfaat in het drinkwater en van een toenemend was-

middelenverbruik de komende jaren nog aanzienlijk zal stijgen.

Algemeen wordt een sulfideconcentratie van 1-1,5 mg/l onder anaërobe omstandigheden acceptabel geacht [5,6]. Bij deze concentratie is bij neutraal afvalwater 0,5-0,75 mg/l H<sub>2</sub>S-gas opgelost in het afvalwater aanwezig. Bij deze concentratie is de emissie naar de rioollucht onder normale omstandigheden beperkt en treedt niet of nauwelijks aantasting op.

Onder normale omstandigheden wordt verstaan:

- Geen overmatige turbulentie.
- Een voldoende be- en ontluicht rioolstelsel.
- Geen stagnante condities.

Uit de vergelijking van de grenswaarde van 1-1,5 mg/l met de waarden uit tabel V blijkt dat in principe overal waar zich anaërobe omstandigheden kunnen voordoen grote risico's bestaan voor het optreden van aantasting.

TABEL V - Maximale sulfideconcentraties in afvalwater.

Bron	Sulfideconcentraties (mg/l)	
	min.	max.
- wasmiddelen	10	34
- drinkwater	nihil	40
- faeces en dergelijke	10	10
totaal	20	84

## 6. Conclusies

Samenvattend kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

6.1. Van alle aantastingsverschijnselen veroorzaakt de biogene zwavelzuuraantasting veruit de grootste schade aan rioolstelsels. Het is derhalve noodzakelijk omtrent de omvang, ernst en preventieve maatregelen meer inzicht te verkrijgen.

6.2. Met betrekking tot bedoeld aantastingsproces is een aantal negatieve ontwikkelingen gaande, dat de omvang van het probleem vergroot. Deze ontwikkelingen hebben betrekking op:

- Niet of nauwelijks beïnvloedbare factoren van buiten het rioolstelsel zoals de aard van het afvalwater en de toename van de hoeveelheden zwavel in het afvalwater.
- Van het stelselontwerp afhankelijke factoren zoals het hydraulisch ontwerp en de ventilatievoorzieningen.

6.3. De zwavelhoeveelheden in het afvalwater worden bepaald door:

- De hoeveelheden zwavel in wasmiddelen.
- De sulfaathoeveelheden in het drinkwater.
- De hoeveelheden zwavel in fecaliën.

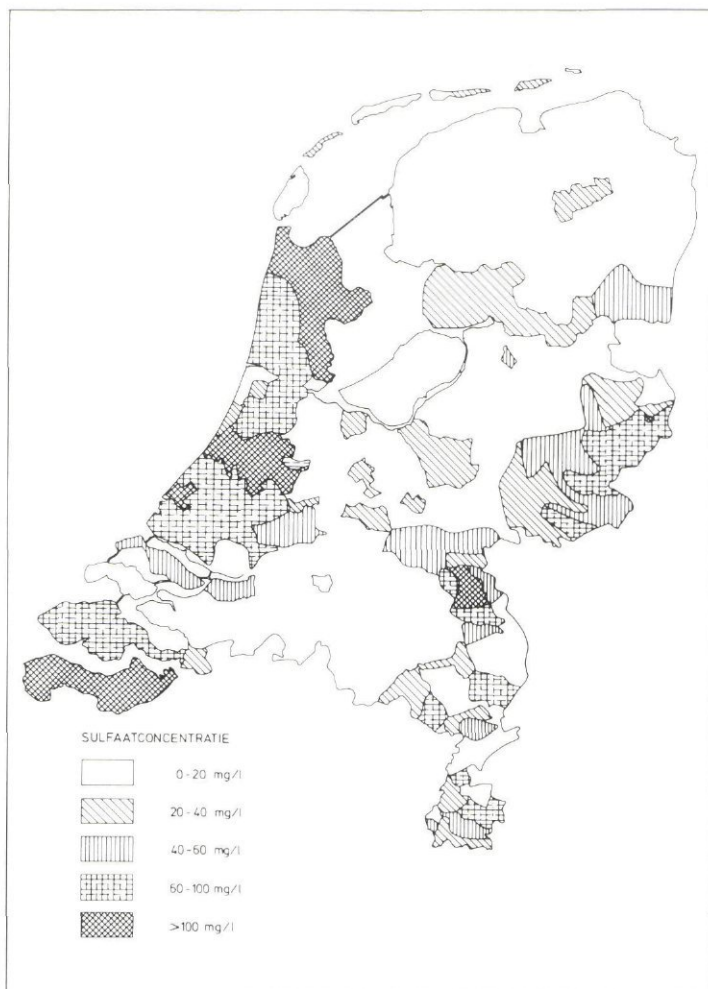
De hoeveelheden zwavel nemen sterk toe, respectievelijk onder invloed van zure regen, toename van het wasmiddelenverbruik en een veranderend voedingspatroon.

6.4. De hoeveelheid zwavel in het afvalwater is in het algemeen reeds zo groot dat overal waar in een rioolstelsel anaërobie kan optreden, gevreesd moet worden voor ernstige aantasting van cementgebonden buismaterialen.

6.5. Een verantwoord beheer van rioolstelsels vereist onderkennen van de kritische situaties en afstemming van het stelselontwerp op de te verwachten problemen.

## Literatuur

1. Vat, D., Snaterse, C. en Wiggers, J. B. M. (1987). *Riolering, veilig en zeker*. De Ingenieur, april 1987.
2. European Water Pollution Control Agency (EWPCA) (1982). *Korrosion in Abwasseranlagen*.
3. Schremmer, H. (1986). *Arbeitsbericht des ATV Fachausschusses 2.3. Korrespondenz Abwasser* 8.
4. Grusenmeyer, S., Verstraete, W. en Defrancq, J. (1985). *Waterstofsulfide in het milieu*. Water nr. 22, mei/juni 1985.
5. Environmental Protection Agency (EPA). (1985). *Design manual odor and corrosion control in sanitary sewer systems and treatment plants*. October 1985.
6. *De uitkomsten van het fysisch chemisch onderzoek 1981*. Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN).
7. Bleuten, W. en Cerutti, M. (1984). *De huidige en toekomstige nitraat- en sulfaatbelasting van grond- en drinkwater van de Nederlandse pleistocene zandgebieden*. H<sub>2</sub>O (17) 1984, nr. 10.
8. Bennekom, C. A. van (1987). *Kwaliteitsveranderingen van grondwater als gevolg van uitspoeling van meststoffen*. H<sub>2</sub>O (20) 1987, nr. 9, p. 194-197.



Afb. 3 - Sulfaatconcentratie in drinkwater.