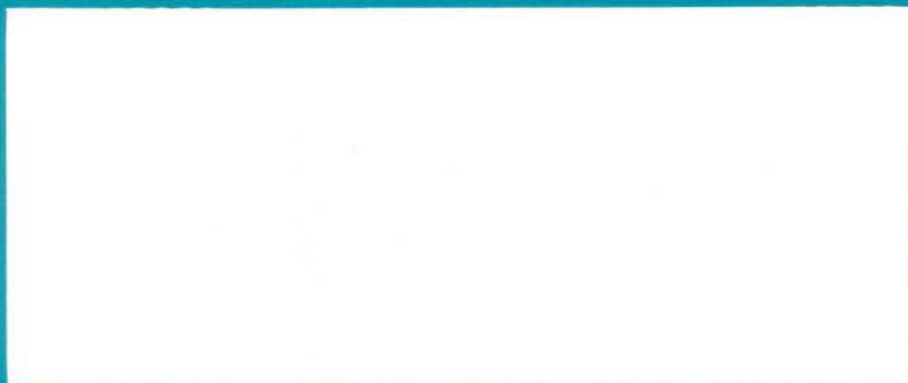


0589



Haalbaarheidsonderzoek relatie stelselontwerp en zand- en slibafzettingen

Stichting RIONED

Taakgroep Onderzoek Riolering

13 juni 2000
110501/ZF0/4T4/100019

Colofon

Opdrachtgever: **Stichting RIONED**

Project: **Haalbaarheidsonderzoek relatie stelselontwerp en zand-
en slibafzettingen**

Rapportnummer: **110501/ZF0/4T4/100019**

Projectleider: **ir. M.R. Moens**

Opsteller: **ir. M.R. Moens**

Datum: **13 juni 2000**

Projectnummer: **110501.100019**

Status: **Definitief rapport**

Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Projectleider	ir. M.R. Moens		13 juni 2000

ARCADIS Heidemij Advies BV
Zuiderparkweg 284
Postbus 1018, 5200 BA 's-Hertogenbosch
Telefoon 073-6 80 92 11
Telefax 073-6 14 46 06

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Opdrachtverlening	4
1.2	Probleemstelling	4
1.3	Doelstelling	4
1.4	Werkwijze	5
1.5	Leeswijzer	5
2	Probleembeschrijving	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Kwantitatieve en kwalitatieve aspecten	6
3	Procesbeschrijving	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Vuilbronnen	7
3.3	Samenstelling van rioolslib	7
3.4	Transportmechanisme	7
4	Bevindingen	9
4.1	Inleiding	9
4.2	Binnenlands onderzoek	9
4.3	Buitenlands onderzoek	10
4.4	Toetsing van de thema 6 aanbevelingen	11
4.5	Aanbevelingen voor het toetsen van de NWRW-aanbevelingen	12
4.6	Conclusies	17
5	Ontwerp van een zelfreinigend rioelstelsel	18
5.1	Inleiding	18
5.2	Definitie zelfreinigend vermogen	18
5.3	Kwantificering van de maatstaven	19
5.4	Buitenlandse ontwerpnormen	20
5.5	Verificatie van de ontwerpnormen	20
5.6	Nederlandse ontwerpnormen	21
6	Conclusies en aanbevelingen	22
6.1	Conclusies	22
6.2	Aanbevelingen	22
6.3	Relatie stelselontwerp en vuiluitworp	23
7	Literatuurlijst	24
Bijlage 1	Theoretische berekeningsmethode voor de vermazingsgraad	25
Bijlage 2	Theoretische methode voor de functietoekenning van riolen	27

1 Inleiding

1.1 Opdrachtverlening

De stichting RIONED heeft ARCADIS per brief met kenmerk 99-0831-TOR, d.d. 2 december 1999, opdracht verleend voor het uitvoeren van een haalbaarheidsonderzoek naar de relatie tussen NEN3399, toestandsaspect C5 (zand- en vuilophoping) en de toepassing van aanbevelingen volgens Thema 6 van de NWRW.

1.2 Probleemstelling

In het vlakke Nederland zijn de gemengde rioolstelsels aangelegd met gering bodemverhang en met grote buisdiameters. De riolering blijkt vrijwel nooit echt glad te zijn aangelegd. Ook ontbreken veelal goede stroomprofielen in putten en grote riolen. Daardoor wordt tijdens perioden zonder regen veel slib afgezet. Dit slib heeft een hoog vervuilingsgehalte en is goed bezinkbaar. In grote transport- en bergingsriolen wordt ca. 10% van de buisinhoud door zanderig slib ingenomen. De rioolbodem lijkt vaak meer op een "mini-rivierbed" waarbij de droogweerafvoer (DWA) tussen bezinksel (veel zand en stenen) en allerlei obstakels door stroomt. Het thema 6-onderzoek leidde tot de volgende conclusies en aanbevelingen [lit. 1]:

- vermenging van functies (inzamelen, bergen en transporteren) geeft over het algemeen geen optimale vuilafvoer;
- de structuur van het rioolstelsel (vermazing, bodemhelling, droogweerafvoer, berging, materiaalkeuze etc.) is in belangrijke mate bepalend voor het slibgedrag;
- in goede huisaansluitleidingen komt normaal gesproken geen slib voor;
- aanbevolen wordt een zeer nauwkeurig DWA-ontwerp te maken, gericht op zo schoon mogelijke riolen en minimalisering van de vuilemissie;
- de vervuilingsgevoeligheid kan worden afgeleid uit situaties van droogweerafvoer + geringe regenval (frequentie van voorkomen van 50x per jaar);
- bij de uitvoering van rioolprojecten dient meer uit te gaan van het "bouwen" van hydraulisch gladde systemen dan van het "leggen" van riolen;
- het beheer dient steeds te zijn gericht op het optimaliseren van de vuilafvoerfunctie.

Circa tien jaar na presentatie van de onderzoeksresultaten is er nog maar weinig aandacht voor genoemde aanbevelingen. De belangrijkste oorzaak hiervan is het ontbreken van harde toetsingscriteria en ontwerpnormen.

1.3 Doelstelling

Doel van het onderzoek is de haalbaarheid en/of het nut aantonen van nader onderzoek naar de relatie tussen de toepassing van de NWRW Thema 6

aanbevelingen en een geringere vervuiling van rioolstrengen. Het achterliggend doel is het bereiken van een geringere vuiluitworp alsmede een geringere RKG-slib productie (minder storten/verbranden). De resultaten kunnen toepassing vinden bij het ontwerp (vuilemissie-arm ontwerpen) en bij het beheer (meer gericht reinigingsprogramma). Daarnaast kunnen beide (ontwerp en beheer) gezien worden als mogelijke effectieve maatregel in het kader van het waterkwaliteitsspoor.

1.4 Werkwijze

Om de vraagstelling te kunnen beantwoorden is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar binnen- en buitenlandse onderzoek op dit gebied en is gebruik gemaakt van reeds verricht praktijkonderzoek in de Nederlandse situatie. In tegenstelling tot de oorspronkelijke opdracht is vanwege de eerste bevindingen uit het literatuuronderzoek geen aanvullend praktijkonderzoek verricht. In plaats daarvan is de aandacht gericht op de bevindingen van buitenlands praktijkonderzoek.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk twee wordt een beschrijving gegeven van het probleem. In het derde hoofdstuk wordt ingegaan op de processen die plaats vinden in het rioolstelsel, van belang voor het kunnen onderkennen van het nut en noodzaak van eventueel nader onderzoek. De binnen- en buitenlandse bevindingen ten aanzien slibtransport en zand- en slibafzettingen zijn verwoord in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt een definitie geformuleerd met bijbehorende ontwerpnormen voor het ontwerp van een economisch zelfreinigend rioolstelsel, gebaseerd op buitenlands onderzoek. De conclusies ten aanzien van het literatuuronderzoek en aanbevelingen voor nader onderzoek zijn geformuleerd in het laatste hoofdstuk (6).

2 Probleembeschrijving

2.1 Algemeen

De problemen die zijn gerelateerd aan sedimentafzettingen, worden wereldwijd onderkend en zijn als volgt te omschrijven [lit. 2]:

- verlies aan hydraulische afvoercapaciteit
- ophoping van vervuilende stoffen
- verhoogde kans op corrosie/materiaaldegradatie
- verhoging van de vuilemissie
- vuilstootlozingen op de afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI)

2.2 Kwantitatieve en kwalitatieve aspecten

verlies aan hydraulische afvoercapaciteit

10% Diameterverkleining (door afzettingen) komt overeen met ca. 20% reductie in hydraulische afvoercapaciteit [lit. 3].

ophoping van vervuilende stoffen

De zandafzetting tijdens droogweer kan variëren tussen de 100 en 700 gram drogestof per meter riool per dag, tijdens regenweer kan de hoeveelheid het honderdvoudige bedragen (waarnemingen Brussel, Marseille lit [4]).

De vervuiling van zware metalen en organische stof is voor het grootste gedeelte gebonden aan de fijnste zandfractie, afkomstig van het afvoerend verhard oppervlak [lit. 5].

verhoogde kans op corrosie

Door omzetting van slib komen gassen vrij die de buiswand aantasten (algemeen bekend verschijnsel).

verhoging van de vuilemissie

De totale geloosde jaarvrucht van een rioolstelsel wordt vrijwel geheel bepaald door een klein aantal grote stootlozingen. De jaarvruchten en maximale stootlozingen verschillen aanzienlijk per stelsel. Gelet op de verhouding tussen de afvalwater- en neerslaghoeveelheden die in een gemengd rioolstelsel van toepassing zijn, moeten de maximale waarden in hoofdzaak worden toegeschreven aan opwoeling van rioolslib [lit.1]

stootlozingen op de AWZI

In geval van het optreden van een first flush (ofwel foul flush) wordt in een korte tijd relatief veel vuil aangeboden op de zuivering. De biologische capaciteit is hier veelal niet op berekend waardoor het zuiveringsrendement tijdelijk afneemt (algemeen bekend verschijnsel).

3 Procesbeschrijving

3.1 Inleiding

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er in de periode 1992-1996 aanzienlijk vooruitgang is geboekt in het trachten te beschrijven van de samenstelling en het gedrag van rioolslib. Echter, gezien de complexiteit van de materie en de grote verschillen in resultaten tussen laboratoriumonderzoek en waarnemingen in de praktijk, wordt uitdrukkelijk opgeroepen de krachten te bundelen en het vraagstuk gezamenlijk (=wereldwijd) op te pakken. In de periode 1997-1999 is de aandacht meer verschoven naar het modelleren van het sedimenttransport.

3.2 Vuilbronnen

In hoofdzaak zijn er drie bronnen van vervuiling aan te wijzen [lit. 5]:

- gruis/zand afkomstig van de riolen zelf (slijtage, lekkage)
- bestanddelen afkomstig van de huishoudelijke afvoer
- fijnkorrelig materiaal afkomstig van het afvoerend oppervlak

3.3 Samenstelling van rioolslib

Rioolslib bestaat in hoofdzaak uit drie componenten [lit.1, lit.2]:

- vers slib (papier/fecaliën)
- licht slib (fijne zandfractie)
- zanderig slib (grote zandfractie)

Zanderig slib heeft een gemiddelde dichtheid van ca. 1800 kg/m^3 met een organisch stofgehalte van ca. 5%. Ongeveer 6% van de deeltjes heeft een korrelgrootte $< 63 \mu\text{m}$.

Licht slib heeft een gemiddelde dichtheid van ca. 1100 kg/m^3 met een organisch stofgehalte van ca. 50%. Ongeveer 45% van de deeltjes heeft een korrelgrootte $< 63 \mu\text{m}$.

Naast het voornamelijk opgelost en drijvend materiaal (vers slib) is er ook sprake van de aanwezigheid van een slijmhuide. Deze bestaat uit 100% organisch materiaal, heeft hoge concentraties aan zuurstofbindende stoffen en is makkelijk te eroderen.

Afzettingen in vuilwaterstelsels bestaan met name uit cohesief materiaal als gevolg van de aanwezigheid van vetten en biologische slijmhuiden. Afzettingen in gemengde stelsels bestaan zowel uit niet cohesieve anorganisch materiaal als uit cohesief materiaal.

3.4 Transportmechanisme

Het transport van rioolslib is vanwege de cohesieve samenstelling (verkitte deeltjes) niet vergelijkbaar met het transport van zand/slib in oppervlaktewater.

Gedurende het transport vindt voortdurend uitwisseling plaats van deeltjes tussen afgezet slib en slib in oplossing. De stromende laag net boven de afgezette sliblaag wordt "near-bed" genoemd.

slib in suspensie

Ca. 90% van het opgelost slib is organisch materiaal. Dit slib is biochemisch actief en heeft een groot absorptievermogen voor micro-verontreinigingen. De gemiddelde concentratie zwevende stoffen bedraagt gemiddeld 250 mg/l. De valsnelheid van de deeltjes is in de orde grootte van 1-2 m/h [lit.2]. Het slib wordt getransporteerd met het aanwezige afvalwater.

"near-bed" slib

Ca. 10% van het totaalgewicht van slibafzettingen bestaat uit zogenaamd "near-bed" slib of ook wel de "dense undercurrent" genoemd. Dit slib bestaat in hoofdzaak uit relatief grote deeltjes (1-30mm) waarvan ca. 30-90% van organische oorsprong. De gemiddelde concentratie zwevende stoffen bedraagt 3500 mg/l. [lit.2]. Het "near-bed" transport is een continue proces wat zowel onder droogweer- als regenweerafvoer plaatsvindt. De valsnelheid van het "near-bed" slib is niet gegeven maar zal variëren tussen 2 en 40 m/h. In de Nederlandse situatie wordt voor het ontwerp van randvoorzieningen een valsnelheid van veelal 5 tot 10 m/h aangehouden.

afgezet slib

Afgezet slib manifesteert zich veelal als duinvormige zandbanken met een effectieve hoogte van soms groter dan 10% van de buisdiameter! Het zich op de bodem van riolen afgezet slib bestaat voornamelijk uit 90% zand [lit. 7] en wordt slechts moeilijk in beweging gebracht. De afzettingen schuiven als een soort rups door het systeem. Het zand maakt de rioolbodem ruwer en bevordert daardoor o.a. de aanhechting van vuil. De valsnelheid van de deeltjes is in de orde grootte van 40 m/h

4 Bevindingen

4.1 Inleiding

Het onderzoek naar sedimenttransport en/of zand- en slibafzettingen heeft diverse inzichten opgeleverd, op grond waarvan vuiltransportformules zijn ontwikkeld en ontwerpcriteria zijn opgesteld. De bevindingen worden beknopt in navolgende paragrafen gepresenteerd. Gezien de aard van dit onderzoek is het geen uitputtende lijst maar een grove doorsnede gebaseerd op literatuuronderzoek gestart vanuit een referentielijst van 1997, met ca. 80 verwijzingen naar artikelen over sedimenttransport en slechts twee over het ontwerp van zelfreinigende riolen. In het kader van dit haalbaarheidsonderzoek zijn de in de literatuurlijst opgenomen artikelen en rapporten met betrekking tot de relatie tussen zand- en slibafzettingen en het stelselontwerp geraadpleegd.

4.2 Binnenlands onderzoek

Voor de binnenlandse bevindingen zijn de TU Delft, enkele vakgenoten (F. Clemens, H. van Mameren en H. van Luijtelaar) en de eigen archieven geraadpleegd. Hieruit blijkt dat slechts een beperkt aantal grootschalige onderzoeken is uitgevoerd:

- NWRW-onderzoek, thema 6 "processen in rioolstelsels" (ARCADIS, 1989);
- Promotie-onderzoek R. Kleijwegt "On sediment transport in circular sewers with non-cohesive deposits" (TU Delft, 1992)
- WRW-onderzoek kwantificering van het begrip "goed functionerend rioolstelsel" (ARCADIS, 1994)
- RIONED/STOWA/WRW-onderzoek, "onderzoek naar de effecten van een verbeterd stelselontwerp op de vuilemissie en waterkwaliteit" (ARCADIS, 1999)
- Onderzoek naar het verband tussen sleepspanning en zand- en slibafzettingen (afstudeeropdracht Witteveen en Bos)

De bevindingen zijn kort samengevat.

- cohesieloos sediment in een vlak bed in een buis beweegt reeds bij kleinere schuifspanningen dan op basis van de Shields-kromme [lit. 8];
- de stromingsweerstand in rioolbuizen en rivieren verschilt als gevolg van de extra energieverliezen die in riolen optreden door de buisvorm [lit. 8];
- elk bodemtype (vlak, ribbels, duinen, geïsoleerd) bepaalt de slibtransportcapaciteit [lit. 8];
- bij meer dan twee afstromingsmogelijkheden treedt een merkbare verslechtering van de afstromingscondities op [lit. 9];
- er is een duidelijk verband tussen de ouderdom van het riool en de mate van zand- en slibafzetting [lit. 9];

- er is geen duidelijk verband tussen zand- en slibafzettingen en de functie van het riool [lit. 9];
- afgezet materiaal bestaat in hoofdzaak uit 90% relatief schoon zand, na verwijdering wordt dit vrij snel opgevuld door vers slib met een hogere vervuilingswaarde, deze neemt af als gevolg van uitloging met het langsstromende afvalwater [lit. 7];
- bij een sleepspanning $\geq 1 \text{ N/m}^2$ (3x DWA) is geen zand- en slibafzetting categorie 3,4 of 5 geconstateerd (ca. 30 onderzochte bemalingsgebieden) [lit. 9];
- slechte leegloopcondities uiten zich in een scheve verhouding tussen het bodemverhang en het energieverhang bij 3x DWA en in zand- en slibafzettingen [lit. 9];
- er zijn minimaal 9 parameters nodig om een relatie te kunnen leggen tussen de stelselspecifieke kenmerken en het optreden van zand- en slibafzettingen (inwonerdichtheid, ledigingstijd, aanlegjaar, energieverhang (3x DWA), vermazingsgraad, volume bij 3x DWA, verloren berging, berging en % ronde of eivormige riolen) [lit. 9];
- het doorvoeren van de NWRW-aanbevelingen in het ontwerp van rioolstelsels en de zorg voor een storingsvrije werking van het rioolgemaal zijn brongerichte (alternatieve) maatregelen, die de kans op zand- en slibafzettingen en de hieraan gerelateerde grootte van de vuilemissie sterk reduceren [lit. 10];
- er is geen relatie gevonden tussen de sleepspanning bij droogweerafvoer en zand- en slibafzettingen [lit. 12];

4.3 Buitenlands onderzoek

Voor de buitenlandse bevindingen is gestart bij de database van het nieuw opgerichte vakblad Urban Water. Hieruit is gebleken dat het onderzoek met betrekking tot dit onderwerp met name is gepubliceerd in de volgende journals:

- Journal of Hydraulic Research;
- Water Resources Management;
- Water Science Technology.

De bevindingen zijn kort samengevat:

- slibafzettingen in de vorm van duinvorming hebben de grootste invloed op de hydraulische afvoercapaciteit [lit. 8];
- het optreden van een first foul flush kan met name worden toegerekend aan de snelheid waarmee de near-bed solids worden getransporteerd bij aanvang van de bui [lit. 2];
- de variatie in afvoer is het meest bepalende mechanisme voor slibafzetting in inzamelriolen [lit. 2];
- de onder laboratorium-omstandigheden benodigde sleepspanning voor opwoeling van slib is ca. 3x zo hoog als in de praktijk, verweking van het bed speelt hierbij een rol [lit. 2];
- in de praktijk blijkt een sleepspanning $\geq 1 \text{ N/m}^2$ voldoende te zijn voor de opwoeling van niet geconsolideerd materiaal (onverkit en pas bezonken

materiaal) en een sleepspanning $\geq 3 \text{ N/m}^2$ voor de opwoeling van geconsolideerd materiaal [lit.2];

- de sleepspanning benodigd voor de opwoeling van een duinvormig bed is ca. 3x zo hoog als die benodigd voor de opwoeling van een vlak bed [lit.2];
- het zelfreinigend vermogen kan niet eenduidig worden gedefinieerd door alleen snelheid of sleepspanning, ook de buisdiameter, de wandruwheid, de vullingsgraad, de sedimentafmeting, de valsnelheid, sedimentdichtheid, cohesiefactor, de vracht en concentratie spelen een rol [lit.2];
- de sedimenttransportcapaciteit is het hoogst bij een vullingsgraad van ca. 60-70% [lit. 6];
- door bovengrondse voorzieningen (zandvangers, zwanenhalsconstructies e.d.) kunnen de grootste zandkorrels worden afgevangen [lit. 4];
- afzettingen komen zelden tot een overstorting, deze “wandelen” door het systeem [lit. 4];
- de invloed van reiniging is van tijdelijke aard aangezien opvulling plaatsvindt door de continue aanvoer van materiaal [lit. 3];
- afzettingen bij droogweerafvoer of bij afloop van de regenweerafvoer gaat vaak samen met structurele en hydraulische discontinuïteiten zoals verbindingen, verandering van bodemverhang en kruisingen [lit. 5].

4.4 Toetsing van de thema 6 aanbevelingen

Beperk vermenging van functies

De praktijkmetingen in Stolwijk bevestigen deze aanbeveling (duidelijke scheiding van rioolfuncties). Uit andere onderzoeken blijkt dat inzamelriolen overwegend schoon zijn vanwege het dynamisch karakter van de droogweerafvoer.

De stelselstructuur is bepalend voor het slibgedrag

De stelselstructuur is inderdaad van belang (meerdere parameters), maar bovendien speelt de aard en samenstelling van het sediment een belangrijke rol.

In goede huisaansluitleidingen komt geen slib voor

Geen bevindingen.

Het ontwerp van een zeer nauwkeurig DWA-ontwerp is wenselijk

Structurele en hydraulische discontinuïteiten zoals verbindingen, verandering van bodemverhang en kruisingen zijn bepalende parameters ten aanzien van zand- en slibafzetting. De praktijkmetingen in Stolwijk bevestigen deze aanbeveling (duidelijke DWA-structuur door aanbrengen DWA-drempels).

De vervuilingsgevoeligheid kan worden afgeleid uit situaties van DWA + geringe neerslag

De maximum slibtransportcapaciteit treedt op bij ca. 60-70% vullingsgraad, de gekozen ontwerpbelasting is hiermee redelijk in overeenstemming.

Riolen niet leggen maar “bouwen”

Structurele en hydraulische discontinuïteiten zoals verbindingen, verandering van bodemverhang en kruisingen zijn bepalende parameters ten aanzien van zand- en

slibafzetting. Meer aandacht aan het ontwerp en het instandhouden van een goed aangelegd stelsel reduceren dus de kans op zand- en slibafzettingen.

Beheer richten op het optimaliseren van de vuilafvoer

Gezien het feit dat vrij snel opvulling plaatsvindt van verwijderd sediment door nieuw sediment dient het beheer te worden gericht op uitvulling van hoeken en opvulling van gaten.

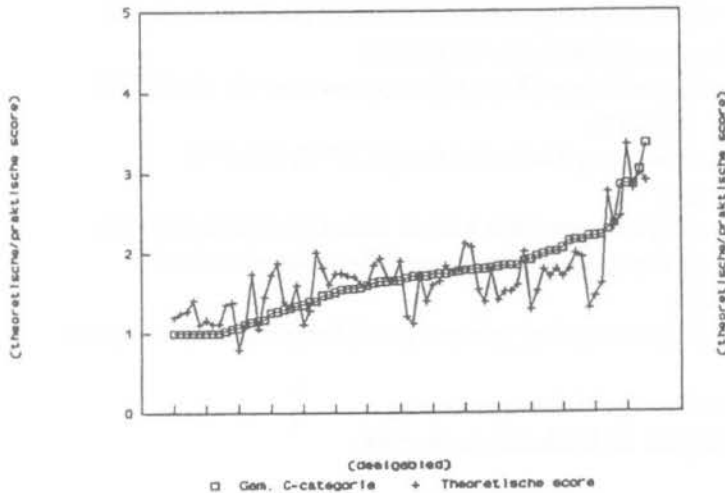
4.5 Aanbevelingen voor het toetsen van de NWRW-aanbevelingen

Uit de inventarisatie van bestaand onderzoek en toetsing van de thema 6 aanbevelingen blijkt dat er enige relatie bestaat tussen de stelselkenmerken en de aanwezigheid van zand- en slibafzettingen. Het ontbreekt echter aan harde ontwerp-/toetsingscriteria. Om invulling te geven aan toetsbare ontwerpcriteria is een verkenning uitgevoerd naar toetsingscriteria. In deze paragraaf zijn op basis van deze verkenning aanbevelingen opgenomen m.b.t. het ontwerpproces, het functioneel ontwerp, de uitvoering en beoordeling van het verbeterd stelselontwerp.

In 1995 is in opdracht van de Werkgroep Riolering West-Nederland een vervolgonderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om het begrip "goed functionerend rioolstelsel" te kwantificeren. Uit dit onderzoek is gebleken dat het mogelijk is een rioolontwerp te vuiltechnisch te beoordelen op basis van kwantificeerbare parameters. De gevonden relatie tussen het theoretisch berekende zelfreinigende vermogen en de in praktijk geconstateerde schadebeelden in de categorie C (afstroming) is weergegeven op pagina 13. De linkse figuur is de correlatie tussen de C-categorie en de zogenaamde GFRS-waarde voor deelgebieden met een inspectie-dekkingspercentage van minimaal 50%. De rechtse figuur is de correlatie tussen de C-categorie en de GFRS-waarde voor deelgebieden met een inspectie-dekkingspercentage van minimaal 75%. Uit de figuren kan worden opgemaakt dat er enige relatie is.

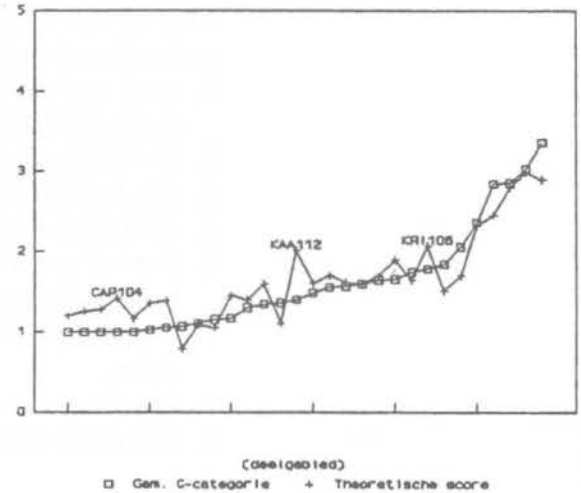
Eindronde calibratie GFRS

74 deelgebieden [R2 = 0,6]



Eindronde calibratie GFRS

29 gebieden, % inspec. > 75 [R2 = 0,85]



Ter afsluiting van het onderzoek zijn destijds ontwerprichtlijnen opgenomen waarmee bij gegeven parameterwaarden het functioneren kan worden beoordeeld. Er volgen twee voorbeelden van het gebruik van deze ontwerprichtlijnen:

Een rioolstelsel wat een 7,5 dient te scoren (criterium voor "goed functionerend rioolstelsel") dient te voldoen aan:

ledigingstijd	: 8 uur
gemiddeld energieverhang	: 1:400
gemiddeld bodemverhang	: 1,350
vermazingsgraad	: 1,35
verloren berging	: 1%
bergingsinhoud	: 7 mm

Een rioolstelsel wat een 9 dient te scoren (criterium voor "zeer goed functionerend rioolstelsel") dient te voldoen aan:

ledigingstijd	: 4 uur
gemiddeld energieverhang	: 1:200
gemiddeld bodemverhang	: 1:200
vermazingsgraad	: 1,15
verloren berging	: 0%
bergingsinhoud	: 9 mm

Een dergelijke modelbenadering vergt een 3x DWA-berekening en een berekening van de vermazingsgraad aangevuld met enkele eenvoudige statistische bewerkingen van de gegevens (gemiddeld verhang).

Het theoretisch model ter bepaling van het vuiltechnisch functioneren vergt dus een aantal berekeningen, waardoor het in het ontwerp-stadium niet praktisch hanteerbaar is. Het theoretisch model is in eerste instantie meer geschikt voor de toetsing van bestaande rioolstelsels.

Aanbevelingen voor het ontwerpproces van gemengde riolering

Voor het ontwerp van een vuiltechnisch goed functionerend rioolstelsel wordt aanbevolen de volgende stappenvolgorde aan te houden:

1. maak onderscheid in een vertakte hoofd- en substructuur voor de afvoer van vuil water (slagader met zijvaten);
2. dimensioneer de vuilwaterriolen op basis van een 1x DWA-situatie;
3. ken de overstortlocaties toe;
4. dimensioneer de regenwaterriolen op basis van de ontwerp-regenbelasting;
5. verbind vertakte riolen via hooggelegen transportriolen voor eventueel benodigde extra veiligheid;
6. breng de benodigde berging aan in diep gelegen goed doorstroomde transportriolen.
7. controleer het stelsel met een 3x DWA-berekening
8. controleer het stelsel volgens de Leidraad-methodiek.

Aanbevelingen voor het functioneel ontwerp van gemengde riolering

1. bevorder via de structuur van het netwerk en injecties de opbouw van een afvalwaterstroom richting lozingspunt
2. ontwerp scherpe hoeken en flauwe bochten hydraulisch goed
3. laat bergingsriolen doorstromen door voldoende DWA of voorzie in stroomprofielen
4. voorkom aansluiting van droogweerafvoer op overstortriolen
5. breng het overstortriool aan met een bodemhoogte boven de 3x DWA-situatie
6. creëer kleine bodemsprongen en stroomgeleidingen
7. stel het inslagpeil van de pomp in op de b.o.b. van het aanvoerriool
8. creëer een bodemverhang van 1:100/1:200 bij huisaansluitleidingen en goede leegloopcondities

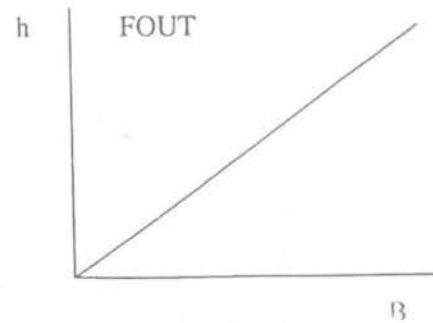
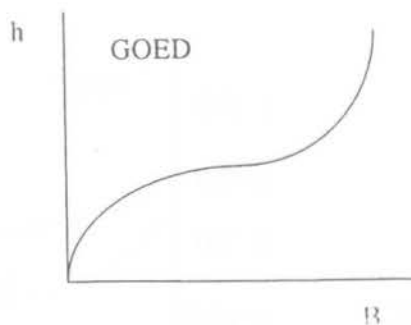
Aanbevelingen voor de uitvoering

1. realiseer riolering met een grote nauwkeurigheid en voer een nauwgezette controle uit op de hoogteligging van de rioolbodem en de doorstroomprofielen
2. besteed veel aandacht aan een gladde rioolbodem en buisvoegen
3. breng "hydraulisch" gladde stroomprofielen aan op plaatsen waar "neren" en "aanslibbingen" worden verwacht.

Beoordelingsmogelijkheden van het rioolontwerp

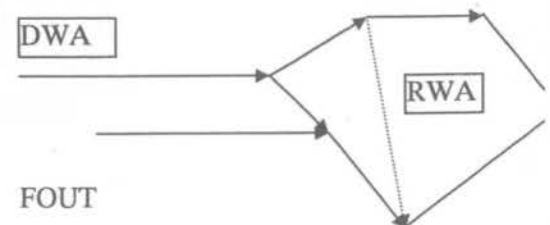
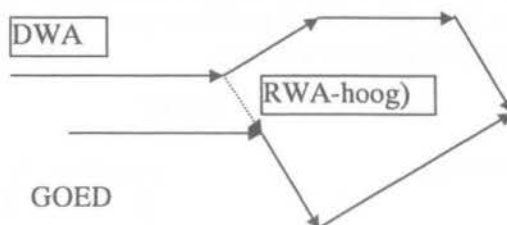
Om het stelselontwerp te kunnen beoordelen zijn handvatten of richtlijnen nodig.

- Ter controle op de verdeling van de berging is een bergings-hoogte relatie gewenst, dit is een gangbare berekening.



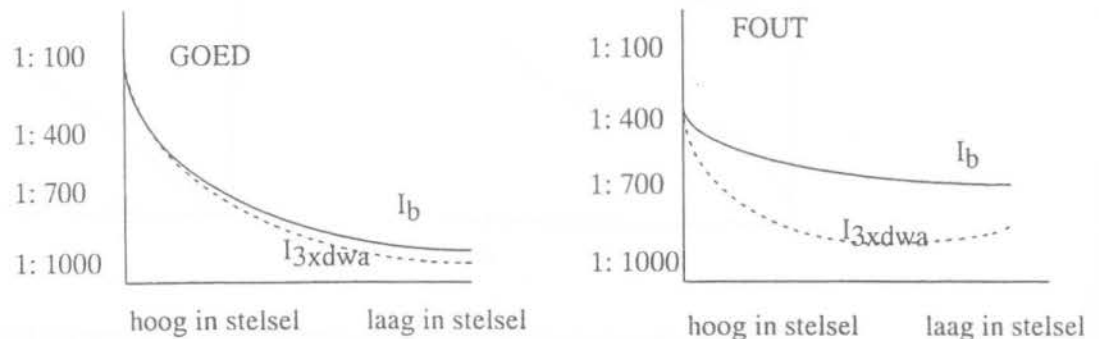
Uit de bergings-hoogte relatie kan worden afgeleid of de meeste berging zich concentreert in de lager gelegen riolen. Hoe meer de berging is verdeeld des te flauwer het verloop van de Bergings-hoogte kromme.

- Ter controle op de vermazingsgraad kan de rekenmethode zoals omschreven in fase 1 “goed functionerend rioolstelsel” worden gehanteerd, dit vergt echter een niet-standaard berekening (bijlage 1). Een andere manier is de grafische presentatie van de vuilwaterstructuur en de regenwaterstructuur via kleur of arcering.



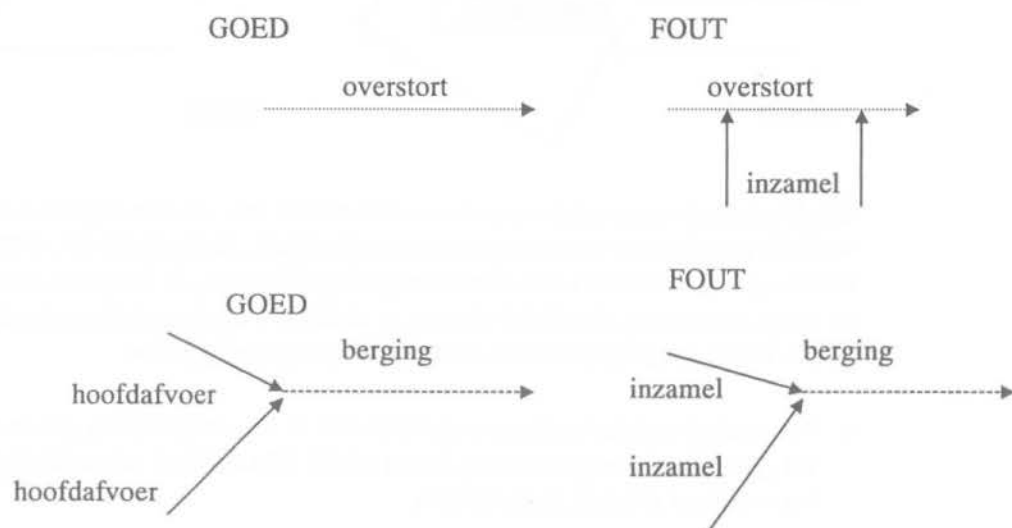
Uit de grafische presentatie van de rioolstructuur kan worden afgeleid of er wellicht overbodige verbindingen zijn aangebracht. In het foute voorbeeld heeft de DWA op twee locaties twee afstromingsmogelijkheden, in het juiste voorbeeld is de enige verbinding die maasvorming in de hand werk hooggelegen zodat deze alleen wordt aangesproken tijdens regenweeromstandigheden.

- Ter controle op de leegloopmogelijkheden is een vergelijking gewenst tussen het gemiddeld energieverhang bij 3x DWA (I_{3xdwa}) en het bodemverhang (I_b), bij voorkeur uitgezet in de hoogte



Uit de verhanglijnen kan worden afgeleid of er slechte leegloopcondities zijn, immers bij goede leegloopcondities blijft het energieverhang bij droogweerafvoer het bodemverhang volgen. Riolen in tegenschot, verzakkingen, verloren berging, geringe berging benedenstrooms, een te hoog inslagpeil van de pomp e.d. zullen zich uiten in een afwijkend energieverhang.

- Ter controle op de functieverdeling van de riolen kan eveneens worden aangesloten bij het selectieschema zoals omschreven in fase 1 "goed functionerend rioolstelsel", dit vergt echter een niet standaard berekening (bijlage 2). Een andere manier is de grafische presentatie van de subjectief toegekende functies via kleur of arcering.



Uit de functieverdeling kan worden opgemaakt of het zinvol is om stroomprofiel aan te brengen.

4.6 Conclusies

Onder de aanname dat afgezet zanderig materiaal nauwelijks tot overstorting komt en continue aanvulling plaatsvindt van verwijderd materiaal ligt het niet voor de hand riolen 100% zelfreinigend te ontwerpen. Bronmaatregelen in de vorm van zandvangsers e.d. en het accepteren van enige vorm van vervuiling is meer (kosten)effectief. In het NWRW-onderzoek is geconcludeerd dat de vuiluitworp met name wordt bepaald door stootlozingen, verklaard uit de opwoeling van rioolslib. Volgens buitenlandse bevindingen worden de stootlozingen in hoofdzaak bepaald door de foul flush, verklaard uit het transport van de near-bed load.

Gezien de invloed van afzettingen op de afname in hydraulische afvoercapaciteit dient de toelaatbare sedimentafzetting te worden beperkt.

Het continue "near-bed" transport is een belangrijke oorzaak van de "foul flush" en is een duidelijke vuilstroom die mogelijk kan worden beheerst. Ingrepen in het rioolstelsel die de stroomsnelheid/sleepspanning tijdens regenweersomstandigheden verhogen (b.v. minimaliseren aantal overstortlocaties) werken hierdoor wellicht averechts! Dit geldt niet voor ingrepen in het rioolstelsel die de stroomsnelheid/sleepspanning tijdens droogweersomstandigheden verhogen (onderzoek Stolwijk).

Het ontwerp van een goed functionerend gemengd rioolstelsel vergt een strikte procesgang met als eerste ontwerpcriterium de vuilwaterafvoer, waarna zeer doordacht de benodigde diameterverruiming t.b.v. de hydraulische afvoercapaciteit en berging wordt doorgevoerd. Het uitvoeren van droogweerafvoerberekeningen leidt tot inzicht. Het ontbreekt echter aan een eenduidig criterium waarmee de mate van overdimensionering kan worden vastgesteld en hiermee het nut en noodzaak van het aanbrengen van stroomprofielen. Nader onderzoek dient zich te richten op het formuleren van eenduidige maatstaven en eenvoudige meetmethoden om dergelijke stelselontwerpen te kunnen toetsen. De haalbaarheid hiervan is beoordeeld in hoofdstuk 5.

5 Ontwerp van een zelfreinigend rioolstelsel

5.1 Inleiding

In 1996 is een publicatie verschenen met betrekking tot de definitie en kwantificering van zelfreinigende riolen [lit. 6]. In dit artikel wordt onderkend dat het zelfreinigend vermogen niet eenduidig kan worden gedefinieerd door alleen snelheid of sleepspanning, maar ook door andere factoren zoals : buisdiameter, ruwheid, vullingsgraad, sediment-afmeting en dichtheid, de cohesiefactor en de sediment-vracht en concentratie.

In eerste instantie wordt een definitie van het zelfreinigend vermogen gegeven met een uitwerking naar functionele eisen. Vervolgens is bekeken in hoeverre bepaalde begrippen kunnen worden gekwantificeerd.

5.2 Definitie zelfreinigend vermogen

Definitie

Een efficiënt zelfreinigend rioolsysteem heeft een sediment-transportcapaciteit die voldoende is om het evenwicht tussen slibafzettingen en slibopwoeling te handhaven, met een over de tijd uitgemiddelde slibafzetting die de kosten van constructie en beheer minimaliseert.

Functionele eisen

1. De buisstroming, groter of gelijk aan een rioolafhankelijke limiet, moet voldoende capaciteit hebben om een minimum concentratie van kleine zandkorrels of lichte deeltjes in suspensie te transporteren.
2. Buisstroming voor het transport van grofkorrelig materiaal moet voldoende zijn om de slibdiepte te limiteren tot een specifieke vullingsgraad.
3. Buisstroming met een bepaalde frequentie van voorkomen moet voldoende zijn om een zandlaag met een bepaalde cohesiviteit weer op te woelen.

Maatstaven

1. ontwerp-snelheid of sleepspanning in oplossing houden van slib
2. ontwerp-snelheid of sleepspanning limiteren slibdiepte
3. ontwerp-snelheid of sleepspanning opwoeling van slib

Meetmethoden

1. snelheid bij 100% vulling en energieverhang
2. grafieken
3. snelheid bij 100% vulling en energieverhang

Het is gebleken dat stroming bij gedeeltelijke vulling ($h/D > 0,2$) bij gelijk energieverhang een grotere sedimenttransportcapaciteit heeft dan bij volledige

vulling (maximum bij 60-70% vullingsgraad). Om deze reden is er voor de maatstaven 1 en 3 gekozen voor 100% vullingsgraad. De gedachte hierachter is dat als een riool zelfreinigend is bij vrijwel volledige vulling, dit ook zo is over een grootte bandbreedte van gedeeltelijke vullingsgraden.

5.3 Kwantificering van de maatstaven

Voor de kwantificering van de maatstaven is in het kader van dit onderzoek uitgegaan van karakteristieke sedimenteigenschappen, zoals deze zijn gevonden voor de gemiddelde situatie in Engeland.

De gemiddelde parameterwaarden zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1: Karakteristieke sedimenteigenschappen Engeland

vorm	Parameter	gem.	max.
slib in suspensie	conc. X (mg/l)	350	1000
	d ₅₀ (µm)	60	100
	dichtheid (kg/m ³)	2000	2500
afgezet slib	conc. X (mg/l)	50	200
	d ₅₀ (µm)	750	750
	dichtheid (kg/m ³)	2600	2600

X = sedimentconcentratie

d₅₀ = gemiddelde zeeffractie

Ter vergelijking zijn de waarden voor de Nederlandse situatie verzameld [lit.1] en weergegeven in Tabel 2. De gegevens zijn gebaseerd op de analyse van ca. 200 slibmonsters van de rioolstelsels de Muntel en Valburg. De slibmonsters zijn vanwege technische problemen genomen in de putten en niet in de strengen.

Tabel 2: Karakteristieke sedimenteigenschappen Valburg en de Muntel

vorm	Parameter	gem.	max.
opgelost slib	conc. X (mg/l)	?	?
	d ₅₀ (µm)	?	?
	dichtheid (kg/m ³)	?	?
afgezet slib	conc. X (mg/l)	?	?
	d ₅₀ (µm)	200-250	250
	dichtheid (kg/m ³)	?	?

Uit Tabel 2 kan worden afgeleid dat slechts weinig relevante informatie beschikbaar is, maar dat de gemiddelde korrelgrootte van afgezet slib in de situatie Valburg en de Muntel aanzienlijk kleiner is. Het is niet bekend in hoeverre de slibmonsters in Valburg en de Muntel representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Naar verwachting is de gemiddelde korrelgrootte groter in meer hellende gebieden.

5.4 Buitenlandse ontwerpnormen

In de publicatie van 1996 [lit. 6] zijn de ontwerpnormen beschreven, zoals deze tot stand zijn gekomen in Engeland. Hierbij is onderscheid gemaakt naar regenwaterriolen en vuilwaterriolen en is een duidelijke knip gelegd bij de buisdiameter waarboven het slecht haalbaar is om 100% zelfreiniging te behalen.

Gemengde en regenwaterriolen

Buisdiameter ≤ 500 mm

Voor gemengde of regenwaterriolen met een diameter kleiner of gelijk aan 500 mm is functionele eis nr. 3 (opwoeling van slib) het gekozen ontwerpcriterium. De benodigde sleepspanning voor de opwoeling van afgezet cohesief slib bedraagt ca. 2 N/m^2 in het geval van een vlak slib-bed. In het geval van duinvormige afzettingen is de benodigde sleepspanning aanzienlijk hoger (ca. $6-7 \text{ N/m}^2$).

Buisdiameter > 500 mm

Voor gemengde of regenwaterriolen met een diameter groter dan 500 mm is functionele eis nr. 2 (limiteren slibdiepte) het gekozen ontwerpcriterium. Het ontwerpen van riolen met een toelaatbare slibdiepte van 1-2% van de buisdiameter is het meest economisch. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van een ontwerpgrafiek waarin voor een bepaalde sedimentkarakteristiek de minimum benodigde buishelling is uitgezet tegen de proportionele sedimentdiepte voor verschillende buisdiameters.

Vuilwaterriolen

Buisdiameter ≤ 500 mm

Voor vuilwaterriolen met een diameter kleiner of gelijk aan 500 mm is functionele eis nr. 3 (opwoeling van slib) het gekozen ontwerpcriterium. De benodigde sleepspanning voor de opwoeling van afgezet cohesief slib bedraagt ca. 2 N/m^2 .

Buisdiameter > 500 mm

Voor vuilwaterriolen met een diameter groter dan 500 mm is functionele eis nr. 1 (in oplossing houden van slib) het gekozen ontwerpcriterium. De benodigde sleepspanning voor het in oplossing houden van het slib bedraagt ca. 1 N/m^2 .

5.5 Verificatie van de ontwerpnormen

De toepasbaarheid van de methode is getoetst aan gegevensverzamelingen van Hongkong, Marseille en Belfast. Hieruit is gebleken dat (onder bepaalde aannamen voor ontbrekende gegevens) dat er geen tekortkomingen zijn in de ontwerpmethodiek. Wellicht is deze ontwerpmethodiek eveneens in de Nederlandse situatie toepasbaar, dit vereist nader wetenschappelijk onderzoek.

5.6 Nederlandse ontwerpnormen

In Nederland worden riolen veelal gedimensioneerd op hydraulische afvoercapaciteit en soms gecontroleerd op sleepspanning. Als criterium voor het "zelfreinigend vermogen" wordt een ontwerpnorm aangehouden van 1 N/m^2 bij droogweerafvoer. Uitgaande van een vullingsgraad van gemiddeld 10-30% komt dit criterium redelijk overeen met een sleepspanning van 2 N/m^2 bij 100% vulling (zie buitenlandse ontwerpnorm).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het ontwerp van een goed functionerend gemengd rioolstelsel vergt een strikte procesgang met als eerste ontwerpcriterium de vuilwaterafvoer, waarna zeer doordacht de benodigde diameterverruiming t.b.v. de hydraulische afvoercapaciteit en berging wordt doorgevoerd. Het uitvoeren van droogweerafvoerberekeningen leidt tot inzicht. Het ontbreekt echter aan een eenduidig criterium waarmee de mate van overdimensionering kan worden vastgesteld en hiermee het nut en noodzaak van het aanbrengen van stroomprofielen.

Gezien de resultaten van binnen- en buitenlands onderzoek dient de samenstelling, eigenschappen en het gedrag van rioolslib te worden betrokken bij het vaststellen van eenduidige maatstaven en meetmethoden ter toetsing van het stelselontwerp. Na 1996 zijn de initiatieven met betrekking tot onderzoek naar zand- en slibafzettingen verzwakt, het is een dermate complexe materie dat wereldwijde bundeling van de krachten gewenst is.

In de Nederlandse situatie wordt een stootlozing geassocieerd met de opwoeling van rioolslib, terwijl buitenlands onderzoek dit meer toeschrijft aan het "near-bed"-transport.

Het zelfreinigend ontwerpen van riolen is niet economisch, het accepteren van een bepaalde mate van slibafzetting (ca. 1-2%) heeft groot financieel voordeel en is acceptabel gezien het transportmechanisme van zanderig materiaal.

Het is niet bekend of de buitenlandse ontwerpnormen voor economisch slibtransport ook van toepassing zijn in de Nederlandse situatie.

6.2 Aanbevelingen

Als eerste stap in de goede richting wordt aanbevolen om ontwerp-richtlijnen voor een verbeterd stelselontwerp op te stellen en hiervoor breed draagvlak te zoeken. Een inventarisatie van deze ontwerp-richtlijnen en een aanzet tot beoordelingsmethoden is gegeven in dit haalbaarheidsonderzoek.

Als tweede stap is een concrete invulling van de maatstaven en meetmethoden benodigd. De benodigde sleepspanning lijkt hiertoe het meest geëigende criterium, deze is echter afhankelijk van de soort en samenstelling van Nederlands rioolslib.

Onderzoek naar de samenstelling en eigenschappen van overgestort/gestort rioolslib levert een bijdrage aan de Nederlandse slibkarakteristiek, waardoor vergelijking met buitenlands onderzoek en ontwerpnormen mogelijk wordt. Het geruimde slib, afkomstig van randvoorzieningen, zinker-constructies en riolen dient te worden onderzocht op o.a. de verdeling van de korrelgrootte, valsnelheid en dichtheid.

Zanderig materiaal wat eenmaal in het riool is ingespoeld is moeilijk te verplaatsen, beperkt de hydraulische afvoercapaciteit en zorgt voor aanhechting van vuil. Preventieve maatregelen in de vorm van het beperken van de instroom door zandvang-constructies, afdichten van lekkende voegen, afkoppelen van verhard oppervlak en straatvegen verdienen de benodigde aandacht.

Zanderig (uitgeloogd) materiaal afgezet in delen die niet onder vrij-verval tot afstroming kunnen komen (verloren berging) kan, mits het de hydraulische afvoercapaciteit niet belemmert, beter niet worden verwijderd omdat het relatief snel wordt ingenomen door agressiever, vers slib wat makkelijk opwoelt.

6.3 Relatie stelselontwerp en vuiluitworp

Aangenomen dat het “near-bed” transport een belangrijke rol speelt in de grootte van de vuilemissie mag een relatie worden verwacht tussen de grootte van het overstortdebiet, de vermaasdheid van het rioolstelsel en de vuilconcentratie van het overstortwater. Hoe groter het overstortdebiet en vertakter het stelsel des te groter het vermogen om het zich over de riool-/slibbodem bewegend materiaal (continue proces) mee te slepen/voort te stuwen richting de overstortput. Indien nader onderzoek (analyse bestaande meetreeksen) een positieve correlatie oplevert tussen de overstortintensiteit, vermaasdheid van het rioolstelsel en de vuilconcentratie van het overstortwater betekent dit dat bij het ontwerp van een goed functionerend rioolstelsel differentiatie van de vuilconcentratie per overstortput mogelijk is.

7 Literatuurlijst

1. Nationale Werkgroep Riolering, 1989, Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989;
2. R.M. Ashley, M.A. Verbanck, 1996, Mechanics of sewer sediment en erosion and transport, Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, No. 6, pp 753-765;
3. Mark O, Cerar U, Perrusquia G., 1996, Prediction of locations with sediment deposits in sewers, Wat. Sci. tech, Vol. 33, No. 9, pp 147-154;
4. Verbanck M.A., 1992, Field investigations on sediment occurrence and behaviour in Brussels Combined Sewers, Wat. Sci. Tech, Vol. 25, No. 8, pp 71-82;
5. Verbanck M.A., Ashley R.M., Bachoc A., 1994, International workshop on origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems, summary of conclusions. Water Research Vol. 28, No 1., pp 187-194
6. May R.W.P., Ackers J.C., Butler D., John S., 1996, Development of design methodology for self cleansing sewers. Wat. Sci. Tech. Vol.33, No. 9 pp 195-206;
7. Nationale Werkgroep Riolering, 1989, Thema 6, Processen in rioolstelsels, Heidemij Advies;
8. Kleijwegt R.A., 1992, On sediment transport in circular sewers with non-cohesive deposits;
9. Werkgroep Riolering West-Nederland, , 1995, Goed Functionerend Rioolstelsel hoofdrapport en deelrapporten, Heidemij Advies;
10. Stichting RIONED/STOWA/WRW, 1999, Onderzoek naar de effecten van een verbeterd stelselontwerp op de vuilemissie en waterkwaliteit, Arcadis Heidemij Advies;
11. Brombach H., Michelbach St., Wöhrle Chr., 1992, Schmutzstofftransport im Mischwasserkanal, Schadstoffe im Regenabfluß II, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
12. Afstudeeronderzoek Witteveen en Bos (mondelinge mededeling resultaat);

Bijlage 1 Theoretische berekeningsmethode voor de vermazingsgraad

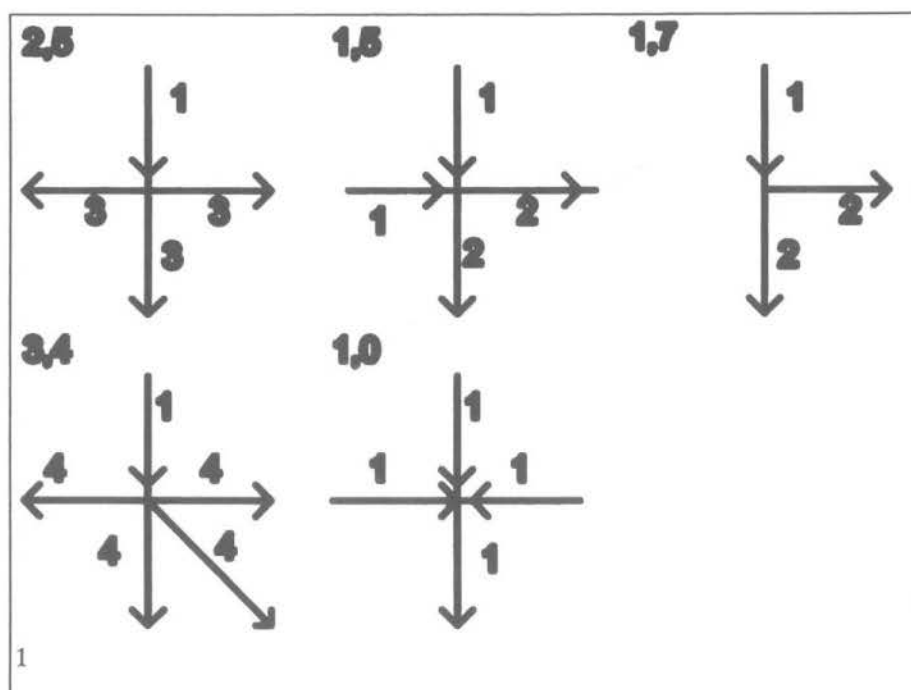
De vermazingsfactor wordt berekend uit het aantal op de put aangesloten riolen welke onder vrijval kunnen leegstromen. De aansluithoogte van de aanliggende riolen doet hierbij niet ter zake. Per bovenstrooms einde van een riool wordt berekend hoeveel riolen op de put (bovenstrooms) zijn aangesloten onder vrij verval (= aantal afstroommogelijkheden). Om een gemiddelde factor per (deel-)gebied te verkrijgen wordt het totaal aantal afstroommogelijkheden gedeeld door het totaal aantal riolen van het (deel-)gebied.

In formule:

$$\text{Vermazing} = \frac{\sum A}{T} \quad (-)$$

Sommatie aantal aangesloten riolen per bovenstrooms eind riool (A) gedeeld door totaal aantal riolen (T). Alleen de aangesloten riolen welke onder vrij verval kunnen afvoeren (inclusief te beschouwen riool) worden geteld.

voorbeeld:



Figuur 1: Vermazingsfactor voor een aantal verschillende situaties.

In bovenstaand voorbeeld bedraagt de vermazingsfactor van het eerste plaatje $10/4 = 2,5$ (in totaal tien afstromingsmogelijkheden en 4 strengen);

In geval van een boomstructuur heeft elk bovenstrooms eind slechts één afstroommogelijkheid onder vrij verval. De vermazingsfactor is in dit geval gelijk aan één.

In geval van een totaal vermaasde structuur heeft elk bovenstrooms eind gemiddeld twee afstromingsmogelijkheden onder vrij verval. De vermazingsfactor is in dit geval gelijk aan twee.

Bijlage 2 Theoretische methode voor de functietoekenning van riolen

Ten behoeve van het objectieve beoordelingsmodel GFRS dienen de rioolstrengen te worden geclassificeerd naar rioolfunctie. Op deze wijze kan een uitspraak worden gedaan over een mogelijk verband tussen slib- en zandafzetting en de rioolfunctie. Om de subjectiviteit uit een dergelijke classificatie weg te nemen is een berekeningsmodel opgesteld aan de hand waarvan de functies worden berekend. Aan de kalibratie van dit berekeningsmodel liggen de stelsels van Dorp-Oost (ontwerp), Valburg en de Muntel ten grondslag omdat van deze stelsels bekend is waar welke type rioolfunctie voorkomt.

De eerste opzet van het rekenmodel is onder meer gebaseerd op de bevindingen uit het onderzoek NWRW thema 6 "Processen in rioolstelsels" (1989). Uit dit onderzoek is het gebleken dat het van belang is om onderscheid te maken in :

- verzamelriolen;
- transportriolen;
- hoofdafvoerriolen;
- bergingsriolen;
- overstortriolen.

In deze notitie wordt nader ingegaan op de functiebeschrijving en de wijze van indelen.

Beschrijving van de functies

Verzamelriolen

Verzamelriolen zijn riolen die de aanvoer van huisaansluitingen en straatkolken inzamelen en transporteren naar het hoofdafvoerriool.

Veelal zijn dit beginriolen met een geringe afvoer en kleine afmetingen.

Door het geringe debiet is hier een relatief grote kans op vervuiling. In droge perioden kan dit riool zelfs incidenteel droog komen te staan. Deze riolen worden vaak gekenmerkt door de aanwezigheid van veel papier en andere vaste stoffen.

Omdat verzamelriolen vaak een onderdeel vormen van een "vermaasd" gedeelte, kan de afvoer ter plaatse ook vaak in twee richtingen plaatsvinden. Hierdoor zal bij een dwa-situatie geen drukopbouw plaatsvinden zodat de aanwezige vervuiling niet wordt opgewoeld en een verdere toename van deze vervuiling ontstaat.

Verzamelriolen in een netwerkstructuur hebben dan ook een relatief grotere kans op vervuiling dan verzamelriolen in een boom- of takstructuur.

Hoofdafvoerriolen

Dit zijn riolen die water van de directe omgeving inzamelen en tegelijkertijd water ontvangen van verzamelriolen. Er is hier dus altijd sprake van een combinatie van inzamelen en transport. De afvoer is meer constant dan in een verzamelriool.

Transportriolen

Transportriolen zijn riolen die in hoofdzaak de functie hebben van transport van water naar het gemaal of de AWZI. Kenmerkend hierbij is een vrijwel constant debiet richting gemaal. Het wel of niet vervuilen van deze riolen is onder meer afhankelijk van:

- de in- en uitslagpeilen van het rioolgemaal.
Een goede leeglooptmogelijkheid is hier van groot belang.
- de helling van de bodem.
De discontinuïteit is in dit riool doorgaans veel minder dan in de overige riolen zodat de reiniging van dit riool ten gevolge van doorspoeling bij een regenbui doorgaans gering is. Het riool is immers al voor een groot gedeelte gevuld met een dwa-stroom terwijl bovendien stroomafwaarts geen bergende riolen noch een uitlaat naar oppervlaktewater aanwezig is.
- invoer van zand in het gehele rioolstelsel.
Wanneer er sprake is van instroom van zand in het riool hetzij via straatkolken of dakafvoeren of lekkages, kan in een aantal gevallen dit zand worden getransporteerd naar de transportriolen.
Het zand zal zich hier gaan verzamelen waardoor een vlakke bodem ontstaat en een grotere wandruwheid. Rioolslib zal hier mogelijk neerslaan en vasthechten aan het zand.

Bergingsriolen

Deze riolen hebben primair de functie van het creëren van bergingscapaciteit. Daardoor zijn deze riolen voor de afvoer overgedimensioneerd. Deze riolen worden vaak gekenmerkt door een relatief lage ligging in het stelsel om volledig aan de bergingscapaciteit deel te nemen. De stroomsnelheid in deze riolen is vaak laag.

Overstortriolen

Overstortriolen hebben primair de functie van transport van regenwater naar de overstortput. De capaciteit is gebaseerd op het debiet bij intensieve neerslag. Deze riolen hebben in de dwa-situatie door de overdimensionering een vrij geringe stroomsnelheid. De kans op aanslibbing is afhankelijk van de ligging binnen het stelsel over het algemeen vrij groot. Met name tijdens intensieve neerslag ontstaat hier een grote kans van opwoeling van bezonken materiaal en transport richting nabijgelegen overstort.

Definiëring van parameters

Ter bepaling van de functie van een riool zijn twee hydraulische berekeningen nodig. Een droogweerafvoerberekening en een regenwaterafvoerberekening. Beide berekeningen zijn stationair, waarbij dient te worden opgemerkt dat de droogweerafvoerberekening uitgaat van een driemaal droogweerafvoersituatie.

Bij deze concrete definiëring worden de volgende begrippen gehanteerd:

- "streng" een riooltraject tussen 2 knooppunten;
- "knooppunt" de volgende locaties zijn knooppunten

- . een punt op de periferie van het stelsel;
 - . het lozingspunt;
 - . een punt waar meerdere riolen samenkomen;
 - . daar waar een discontinuïteit ontstaat in verhang, bodemhoogte, afmetingen, debiet of andere aspecten die op de stroming invloed hebben.
- "directe afvoer" de afvoer die (zonder tussenkomst van andere riolen) het riool instroomt;
- "dwa-debiet" het debiet dat ontstaat bij een afvoer gelijk aan de pompcapaciteit van het rioolgemaal;
- "rwa-debiet" het debiet bij een neerslagintensiteit van 60 l/s/ha;
- "zijdelings debiet" het debiet dat via kolken en goten direct op dit riool afvoert;
- "doorstroomdebiet" het debiet dat tijdens dwa door het riool stroomt;

De debieten en snelheden worden ontleend aan de stationaire hydraulische berekeningen (dwa- en rwa-berekening).

Qt is het debiet door het riool bij dwa-debiet (dwa-berekening);
 Qz is het zijdelingse debiet bij dwa-debiet (dwa-berekening);
 Qn is het doorstroomdebiet bij neerslag (rwa-berekening);
 Vd is de stroomsnelheid bij dwa-debiet (dwa-berekening);
 Vn is de stroomsnelheid bij rwa-debiet (rwa-berekening);

Verzamelriolen

Een verzamelriool bevat in principe alleen water van zijn eigen verzamelgebied. Het totale dwa-debiet (Qt) is daarbij kleiner dan $2,0 \cdot$ de directe afvoer bij dwa debiet (Qz). De afmeting is < diameter 0,50 m.

Is de afmeting groter dan is er meestal alleen sprake van een bergingsriool of een overstortriool als hoofdfunctie. Het zijdelings debiet is bekend uit de droogweerafvoerberekening (invoer), terwijl het totaal debiet wordt berekend uitgaande van de zijdelingse debieten.

Hoofdafvoerriolen

Hoofdafvoerriolen zijn riolen met een dwa-debiet (Qt) > 2 en $< 20 \cdot$ het zijdelings debiet (Qz). Dit type riolen voert dus meer dan alleen water van het eigen inzamelgebied af.

Transportriolen

Een transport riool bevat in principe alleen water van andere riolen. Het totale debiet (Qt) is daarbij $> 20 \cdot$ de zijdelingse afvoer (Qz).

Bergingsriolen

Een bergingsriool is zowel bij dwa als bij rwa overgedimensioneerd. Een riool wordt als bergingsriool aangemerkt bij afmetingen > diameter 0,50 m en een stroomsnelheid zowel bij dwa als rwa $< 0,10$ m/s.

Overstortriolen

Een overstortriool voert in principe alleen water af in een overstortsituatie. In de dwa-situatie is de stroomsnelheid $< 0,10$ m/s. Bij de rwa situatie is de stroomsnelheid $> 0,20$ m/s.

Werkwijze

Het merendeel van de rioolstrengen heeft meerdere functies. Om toch tot een indeling te komen is het van belang na te gaan welke functie in een streng maatgevend is. Om op een systematische wijze tot een indeling te komen zijn de volgende stappen gehanteerd.

Selecteren van de riolen op basis van een functie bij dwa

In eerste instantie wordt nagegaan wat de functie van het riool is in een dwa situatie. Dit is immers de meest voorkomende situatie. Hiertoe wordt een stationaire hydraulische berekening uitgevoerd met een debiet dat overeenkomt met $3 \cdot$ het debiet bij dwa. Ook dit is een veel voorkomende situatie. De hydraulische berekening is hierbij minder gevoelig dan bij een pure dwa situatie. De stromingsrichting en snelheidsverdeling zijn volledig vergelijkbaar met een werkelijke dwa situatie.

Bij het interpreteren van de resultaten uit deze berekening wordt een vergelijking gemaakt tussen transportdebiet en zijdelings debiet. Op basis hiervan ontstaat een indeling in:

- verzamelriool $Q_t < 2 \cdot Q_z$
- hoofdafvoerriool $2 < Q_t < 20 \cdot Q_z$
- transportriool. $Q_t > 20 \cdot Q_z$

Daarnaast wordt gekeken naar de stroomsnelheid in het riool en de vulling. Is de stroomsnelheid groter dan $0,10$ m/s en is de vulling meer dan 25% dan wordt de berging of mogelijke toestroming bij neerslag naar de overstort niet gezien als een primaire functie.

Riolen met een afmeting kleiner dan 500 mm worden niet aangemerkt als mogelijke bergingsriolen of overstortriolen.

Selecteren van riolen op basis van de functie bij rwa

Ten behoeve van inzicht in het hydraulisch functioneren van de riolering in een rwa situatie wordt een rwa berekening uitgevoerd (stationaire berekening met een debiet gelijk aan een neerslag van 60 l/s/ha). Bij de resultaten uit deze berekening worden alleen die riolen in beschouwing genomen welke bij de selectie op basis van een dwa berekening zijn uitgeselecteerd en op basis daarvan niet "berging" of "transport van overstortwater" als primaire functie hebben.

De resterende riolen worden als volgt ingedeeld:

- bergingsriool V (absoluut) $< 0,20$ m/s
- overstortriool V (absoluut) $> 0,20$ m/s

Selectieschema

Nadat de bovengenoemde berekeningen zijn uitgevoerd is het mogelijk per streng de volgende informatie te verzamelen:

- diameter of doorstroombreedte;
- het vullingspercentage bij $3 * dwa$;
- de stroomsnelheid bij $3 * dwa$;
- de verhouding tussen transportdebiet en zijdelings-instroomdebiet;
- de stroomsnelheid bij een neerslagsituatie van 60 l/s/ha.

Teneinde te komen tot een indeling van de riolen gekoppeld aan de functie is de volgende sortering nodig:

1e selectie (op doorstroombreedte.)

Alle riolen kleiner dan 500 mm zijn op te delen in:

- verzamelriolen $Qt/Q2 < 2$
- hoofdafvoerriolen $2 < Qt/Qz < 20$
- transportriolen $Qt/Qz > 20$

Overige riolen nader te selecteren.

*2e selectie (op vulling en stroomsnelheid bij $3 * dwa$)*

Dit geldt alleen voor de riolen groter of gelijk aan 500 mm

De riolen waarbij de vulling bij $3dwa > 25\%$ en de stroomsnelheid > 0.10 m/s hebben "berging-" of "overstort-riool" niet als hoofdfunctie.

Deze riolen zijn in te delen in:

- hoofdafvoerriolen $Qt/Qz < 20$
- transportriolen $Qt/Qz > 20$

Overige riolen nader te selecteren.

3e selectie (op stroomsnelheid bij rwa)

De overige riolen zijn onder te verdelen afhankelijk van de stroomsnelheid bij rwa waarbij de volgende indeling wordt gehanteerd:

- bergingsriool v absoluut $< 0,20$ m/s
- overstortriool v absoluut $> 0,20$ m/s.

Haalbaarheidsonderzoek relatie stelselontwerp en zand- en slibafzettingen

Stichting RIONED

Taakgroep Onderzoek Riolering

- EINDCONCEPT -

17 maart 2000
110501/ZF0/293/100019

Colofon

Opdrachtgever: **Stichting RIONED**

Project: **Haalbaarheidsonderzoek relatie stelselontwerp en zand-
en slibafzettingen**

Rapportnummer: **110501/ZF0/293/100019**

Projectleider: **M. Moens**

Opsteller: **M. Moens**

Datum: **17 maart 2000**

Projectnummer: **110501.100019**

Status: **Concept rapport**

Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Projectleider	M. Moens		17-03-2000

ARCADIS Heidemij Advies BV
Zuiderparkweg 284
Postbus 1018, 5200 BA 's-Hertogenbosch
Telefoon 073-6 80 92 11
Telefax 073-6 14 46 06

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Opdrachtverlening	4
1.2	Probleemstelling	4
1.3	Doelstelling	4
1.4	Werkwijze	5
1.5	Leeswijzer	5
2	Probleembeschrijving	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Kwantitatieve en kwalitatieve aspecten	6
3	Procesbeschrijving	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Vuilbronnen	7
3.3	Samenstelling van rioolslib	7
3.4	Transportmechanisme	7
4	Bevindingen	9
4.1	Inleiding	9
4.2	Binnenlands onderzoek	9
4.3	Buitenlands onderzoek	10
4.4	Toetsing van de thema 6 aanbevelingen	11
4.5	Conclusies	12
5	Ontwerp van een zelfreinigend rioelstelsel	13
5.1	Inleiding	13
5.2	Definitie zelfreinigend vermogen	13
5.3	Kwantificering van de maatstaven	14
5.4	Buitenlandse ontwerpnormen	15
5.5	Verificatie van de ontwerpnormen	15
5.6	Nederlandse ontwerpnormen	15
6	Conclusies en aanbevelingen	17
6.1	Conclusies	17
6.2	Aanbevelingen	17
7	Literatuurlijst	19

1 Inleiding

1.1 Opdrachtverlening

De stichting RIONED heeft ARCADIS per brief met kenmerk 99-0831-TOR, d.d. 2 december 1999, opdracht verleend voor het uitvoeren van een haalbaarheidsonderzoek naar de relatie tussen NEN3399, toestandsaspect C5 (zand- en vuilophoping) en de toepassing van aanbevelingen volgens Thema 6 van de NWRW.

1.2 Probleemstelling

In het vlakke Nederland zijn de gemengde rioolstelsels aangelegd met gering bodemverhang en met grote buisdiameters. De riolering blijkt vrijwel nooit echt glad te zijn aangelegd. Ook ontbreken veelal goede stroomprofielen in putten en grote riolen. Daardoor wordt tijdens perioden zonder regen veel slib afgezet. Dit slib heeft een hoog vervuilingsgehalte en is goed bezinkbaar. In grote transport- en bergingsriolen wordt ca. 10% van de buisinhoud door zanderig slib ingenomen. De rioolbodem lijkt vaak meer op een "mini-rivierbed" waarbij de droogweerafvoer (DWA) tussen bezinksel (veel zand en stenen) en allerlei obstakels door stroomt. Het thema 6-onderzoek leidde tot de volgende conclusies en aanbevelingen (lit. 1):

- vermenging van functies (inzamelen, bergen en transporteren) geeft over het algemeen geen optimale vuilafvoer;
- • de structuur van het rioolstelsel (vermazing, bodemhelling, droogweerafvoer, berging, materiaalkeuze etc.) is in belangrijke mate bepalend voor het slibgedrag;
- in goede huisaansluitingen komt normaal gesproken geen slib voor;
- aanbevolen wordt een zeer nauwkeurig DWA-ontwerp te maken, gericht op zo schoon mogelijke riolen en minimalisering van de vuilemissie;
- • de vervuilingsgevoeligheid kan worden afgeleid uit situaties van droogweerafvoer + geringe regenval (frequentie van voorkomen van 50x per jaar);
- bij de uitvoering van rioolprojecten dient meer uit te gaan van het "bouwen" van hydraulisch gladde systemen dan van het "leggen" van riolen;
- het beheer dient steeds te zijn gericht op het optimaliseren van de vuilafvoerfunctie.

Circa tien jaar na presentatie van de onderzoeksresultaten is er nog maar weinig aandacht voor genoemde aanbevelingen, de vraag is of dat terecht is of niet.

1.3 Doelstelling

Doel van het onderzoek is de haalbaarheid en/of het nut aantonen van nader onderzoek naar de relatie tussen de toepassing van de NWRW Thema 6 aanbevelingen en een geringere vervuiling van rioolstrengen. Het achterliggend doel is het bereiken van een geringere vuiluitworp alsmede een geringere RKG-slib

produktie (minder storten/verbranden). De resultaten kunnen toepassing vinden bij het ontwerp (vuilemissie-arm ontwerpen) en bij het beheer (meer gericht reinigingsprogramma). Daarnaast kunnen beide (ontwerp en beheer) gezien worden als mogelijke effectieve maatregel in het kader van het waterkwaliteitsspoor.

1.4 Werkwijze

Om de vraagstelling te kunnen beantwoorden is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar binnen- en buitenlandse onderzoek op dit gebied en is gebruik gemaakt van reeds verricht praktijkonderzoek in de nederlandse situatie. In tegenstelling tot de oorspronkelijke opdracht is vanwege de eerste bevindingen uit het literatuuronderzoek geen aanvullend praktijkonderzoek verricht. In plaats daarvan is de aandacht gericht op de bevindingen van buitenlands praktijkonderzoek.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk twee wordt een beschrijving gegeven van het probleem. In het derde hoofdstuk wordt ingegaan op de processen die plaats vinden in het rioolstelsel, van belang voor het kunnen onderkennen van het nut en noodzaak van eventueel nader onderzoek. De binnen- en buitenlandse bevindingen ten aanzien slibtransport en zand- en slibafzettingen zijn verwoord in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt een definitie geformuleerd met bijbehorende ontwerpnormen voor het ontwerp van een economisch zelfreinigend rioolstelsel, gebaseerd op buitenlands onderzoek. De conclusies ten aanzien van het literatuuronderzoek en aanbevelingen voor nader onderzoek zijn geformuleerd in het laatste hoofdstuk.

2 Probleembeschrijving

2.1 Algemeen

De problemen die zijn gerelateerd aan sedimentafzettingen, worden wereldwijd onderkend en zijn als volgt te omschrijven [lit. 2]:

- verlies aan hydraulische afvoercapaciteit;
- ophoping van vervuilende stoffen;
- verhoogde kans op corrosie;
- verhoging van de vuilemissie;
- stootlozingen op de afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI).

2.2 Kwantitatieve en kwalitatieve aspecten

verlies aan hydraulische afvoercapaciteit

10% Diameterverkleining (door afzettingen) komt overeen met ca. 20% reductie in hydraulische afvoercapaciteit [lit. 3].

ophoping van vervuilende stoffen

De zandafzetting tijdens droogweer kan variëren tussen de 100 en 700 gram drogestof per meter riool per dag, tijdens regenweer kan de hoeveelheid het honderdvoudige bedragen (waarnemingen Brussel, Marseille lit [4]).

De vervuiling van zware metalen en organische stof is voor het grootste gedeelte gebonden aan de fijnste zandfractie, afkomstig van het afvoerend verhard oppervlak [lit. 5].

verhoogde kans op corrosie

Door omzetting van slib komen gassen vrij die de buiswand aantasten (algemeen bekend verschijnsel).

verhoging van de vuilemissie

De totale geloosde jaarvrucht van een rioolstelsel wordt vrijwel geheel bepaald door een klein aantal grote stootlozingen. De jaarvruchten en maximale stootlozingen verschillen aanzienlijk per stelsel. Gelet op de verhouding tussen de afvalwater- en neerslaghoeveelheden die in een gemengd rioolstelsel van toepassing zijn, moeten de maximale waarden in hoofdzaak worden toegeschreven aan opwoeling van rioolslib [lit.1]

stootlozingen op de AWZI

In geval van het optreden van een first flush (ofwel foul flush) wordt in een korte tijd relatief veel vuil aangeboden op de zuivering. De biologische capaciteit is hier veelal niet op berekend waardoor het zuiveringsrendement tijdelijk afneemt (algemeen bekend verschijnsel).

gkepint voor gem.
sliboverw. rekening

3 Procesbeschrijving

3.1 Inleiding

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er in de periode 1992-1996 aanzienlijk vooruitgang is geboekt in het trachten te beschrijven van de samenstelling en het gedrag van rioolslib. Echter, gezien de complexiteit van de materie en de grote verschillen in resultaten tussen laboratoriumonderzoek en waarnemingen in de praktijk, wordt uitdrukkelijk opgeroepen de krachten te bundelen en het vraagstuk gezamenlijk (=wereldwijd) op te pakken. In de periode 1997-1999 is de aandacht meer verschoven naar het modelleren van het sedimenttransport.

3.2 Vuilbronnen

In hoofdzaak zijn er drie bronnen van vervuiling aan te wijzen [lit. 5]:

- gruis/zand afkomstig van de riolen zelf (slijtage, lekkage);
- bestanddelen afkomstig van de huishoudelijke afvoer;
- fijnkorrelig materiaal afkomstig van het afvoerend oppervlak.

3.3 Samenstelling van rioolslib

Rioolslib bestaat in hoofdzaak uit drie componenten [lit.1, lit.2]:

- vers slib (papier/fecaliën);
- licht slib (fijne zandfractie);
- zanderig slib (grove zandfractie).

Zanderig slib heeft een gemiddelde dichtheid van ca. 1800 kg/m^3 met een organisch stofgehalte van ca. 5%. Ongeveer 6% van de deeltjes heeft een korrelgrootte $< 63 \mu\text{m}$.

Licht slib heeft een gemiddelde dichtheid van ca. 1100 kg/m^3 met een organisch stofgehalte van ca. 50%. Ongeveer 45% van de deeltjes heeft een korrelgrootte $< 63 \mu\text{m}$.

Naast het voornamelijk opgelost en drijvend materiaal (vers slib) is er ook sprake van de aanwezigheid van een slijmhuide. Deze bestaat uit 100% organisch materiaal, heeft hoge concentraties aan zuurstofbindende stoffen en is makkelijk te eroderen.

Afzettingen in vuilwaterstelsels bestaan met name uit cohesief materiaal als gevolg van de aanwezigheid van vetten en biologische slijmhuiden. Afzettingen in gemengde stelsels bestaan zowel uit niet cohesieve anorganisch materiaal als uit cohesief materiaal.

3.4 Transportmechanisme

Het transport van rioolslib is vanwege de cohesieve samenstelling (verkitte deeltjes) niet vergelijkbaar met het transport van zand/slib in oppervlaktewater.

Gedurende het transport vindt voortdurend uitwisseling plaats van deeltjes tussen afgezet slib en slib in oplossing. De stromende laag net boven de afgezette sliblaag wordt "near-bed" genoemd.

slib in suspensie

Ca. 90% van het opgelost slib is organisch materiaal. Dit slib is biochemisch actief en heeft een groot absorptievermogen voor micro-verontreinigingen. De gemiddelde concentratie zwevende stoffen bedraagt gemiddeld 250 mg/l. De valsnelheid van de deeltjes is in de orde grootte van 1-2 m/h [lit.2]. Het slib wordt getransporteerd met het aanwezige afvalwater.

"near-bed" slib

Ca. 10% van het totaalgewicht van slibafzettingen bestaat uit zogenaamd "near-bed" slib of ook wel de "dense undercurrent" genoemd. Dit slib bestaat in hoofdzaak uit relatief grote deeltjes (1-30mm) waarvan ca. 30-90% van organische oorsprong. De gemiddelde concentratie zwevende stoffen bedraagt 3500 mg/l. [lit.2]. Het "near-bed" transport is een continue proces wat zowel onder droogweer- als regenweerafvoer plaatsvindt. De valsnelheid van het "near-bed" slib is niet gegeven maar zal variëren tussen 2 en 40 m/h. In de nederlandse situatie wordt voor het ontwerp van randvoorzieningen een valsnelheid van veelal 5 tot 10 m/h aangehouden.

afgezet slib

Afgezet slib manifesteert zich veelal als duinvormige zandbanken met een effectieve hoogte van soms groter dan 10% van de buisdiameter! Het ~~zich~~ op de bodem van riolen afgezet slib bestaat voornamelijk uit 90% zand [lit. 7] en wordt slechts moeilijk in beweging gebracht. De afzettingen schuiven als een soort rups door het systeem. Het zand maakt de rioolbodem ruwer en bevordert daardoor o.a. de aanhechting van vuil. De valsnelheid van de deeltjes is in de orde grootte van 40 m/h

4 Bevindingen

4.1 Inleiding

Het onderzoek naar sedimenttransport en/of zand- en slibafzettingen heeft diverse inzichten opgeleverd, op grond waarvan vuiltransportformules zijn ontwikkeld en ontwerpcriteria zijn opgesteld. De bevindingen worden beknopt in navolgende paragrafen gepresenteerd. Gezien de aard van dit onderzoek is het geen uitputtende lijst maar een grove doorsnede gebaseerd op literatuuronderzoek gestart vanuit een referentielijst van 1997, met ca. 80 verwijzingen naar artikelen over sedimenttransport en slechts twee over het ontwerp van zelfreinigende riolen. In het kader van dit haalbaarheidsonderzoek zijn de in de literatuurlijst opgenomen artikelen en rapporten met betrekking tot de relatie tussen zand- en slibafzettingen en het stelselontwerp geraadpleegd.

4.2 Binnenlands onderzoek

Voor de binnenlandse bevindingen zijn de TU Delft, enkele vakgenoten (F. Clemens, H. van Mameren en H. van Luijtelaar) en de eigen archieven geraadpleegd. Hieruit blijkt dat slechts een beperkt aantal grootschalige onderzoeken is uitgevoerd:

- NWRW-onderzoek, thema 6 "processen in rioolstelsels" (Arcadis, 1989);
- Promotie-onderzoek R. Kleijwegt "On sediment transport in circular sewers with non-cohesive deposits" (TU Delft, 1992);
- WRW-onderzoek kwantificering van het begrip "goed functionerend rioolstelsel" (Arcadis, 1994);
- RIONED/STOWA/WRW-onderzoek, "onderzoek naar de effecten van een verbeterd stelselontwerp op de vuilemissie en waterkwaliteit" (Arcadis, 1999);
- Onderzoek naar het verband tussen sleepspanning en zand- en slibafzettingen (afstudeeropdracht Witteveen en Bos).

De bevindingen zijn kort samengevat.

- cohesieloos sediment in een vlak bed in een buis beweegt reeds bij kleinere schuifspanningen dan op basis van de Shields-kromme [lit. 8];
- de stromingsweerstand in rioolbuizen en rivieren verschilt als gevolg van de extra energieverliezen die in riolen optreden door de buisvorm [lit. 8];
- elk bodemtype (vlak, ribbels, duinen, geïsoleerd) bepaalt de slibtransportcapaciteit [lit. 8];
- bij meer dan twee afstromingsmogelijkheden treedt een merkbare verslechtering van de afstromingscondities op [lit. 9];
- er is een duidelijk verband tussen de ouderdom van het riool en de mate van zand- en slibafzetting [lit. 9];
- er is geen duidelijk verband tussen zand- en slibafzettingen en de functie van het riool [lit. 9];

- afgezet materiaal bestaat in hoofdzaak uit 90% relatief schoon zand, na verwijdering wordt dit vrij snel opgevuld door vers slib met een hogere vervuilingswaarde, deze neemt af als gevolg van uitloging met het langsgestroomde afvalwater [lit. 7];
- bij een sleepspanning $\geq 1 \text{ N/m}^2$ (3x DWA) is geen zand- en slibafzetting categorie 3,4 of 5 geconstateerd (ca. 30 onderzochte bemalingsgebieden) [lit. 9];
- slechte leegloopcondities uiteten zich in een scheve verhouding tussen het bodemverhang en het energieverhang bij 3x DWA en in zand- en slibafzettingen [lit. 9];
- er zijn minimaal 9 parameters nodig om een relatie te kunnen leggen tussen de stelselspecifieke kenmerken en het optreden van zand- en slibafzettingen (inwonerdichtheid, ledigingstijd, aanlegjaar, energieverhang (3x DWA), vermazingsgraad, volume bij 3x DWA, verloren berging, berging en % ronde of eivormige riolen) [lit. 9];
- het doorvoeren van de NWRW-aanbevelingen in het ontwerp van rioolstelsels en de zorg voor een storingsvrije werking van het rioolgemaal zijn brongerichte (alternatieve) maatregelen, die de kans op zand- en slibafzettingen en de hieraan gerelateerde grootte van de vuilemissie sterk reduceren [lit. 10];
- er is geen relatie gevonden tussen de sleepspanning bij droogweerafvoer en zand- en slibafzettingen [lit. 12].

4.3 Buitenlands onderzoek

Voor de buitenlandse bevindingen is gestart bij de database van het nieuw opgerichte vakblad Urban Water. Hieruit is gebleken dat het onderzoek met betrekking tot dit onderwerp met name is gepubliceerd in de volgende journals:

- Journal of Hydraulic Research;
- Water Resources Management;
- Water Science Technology.

De bevindingen zijn kort samengevat:

- slibafzettingen in de vorm van duinvorming hebben de grootste invloed op de hydraulische afvoercapaciteit [lit. 8];
- het optreden van een first foul flush kan met name worden toegerekend aan de snelheid waarmee de near-bed solids worden getransporteerd bij aanvang van de bui [lit. 2];
- de variatie in afvoer is het meest bepalende mechanisme voor slibafzetting in inzamelriolen [lit. 2];
- de onder laboratorium-omstandigheden benodigde sleepspanning voor opwoeling van slib is ca. 3x zo hoog als in de praktijk, verweking van het bed speelt hierbij een rol [lit. 2];
- in de praktijk blijkt een sleepspanning $\geq 1 \text{ N/m}^2$ voldoende te zijn voor de opwoeling van niet geconsolideerd materiaal (onverkit en pas bezonken materiaal) en een sleepspanning $\geq 3 \text{ N/m}^2$ voor de opwoeling van geconsolideerd materiaal [lit. 2];

- de sleepspanning benodigd voor de opwoeling van een duinvormig bed is ca. 3x zo hoog als die benodigd voor de opwoeling van een vlak bed [lit.2];
- het zelfreinigend vermogen kan niet eenduidig worden gedefinieerd door alleen snelheid of sleepspanning, ook de buisdiameter, de wandruwheid, de vullingsgraad, de sedimentafmeting, de valsnelheid, sedimentdichtheid, cohesiefactor, de vracht en concentratie spelen een rol [lit.2];
- de sedimenttransportcapaciteit is het hoogst bij een vullingsgraad van ca. 60-70% [lit. 6];
- • door bovengrondse voorzieningen (zandvangers, zwanehals-constructies e.d.) kunnen de grootste zandkorrels worden afgevangen [lit. 4]; ➤
- afzettingen komen zelden tot een overstorting, deze “wandelen” door het systeem [lit. 4];
- • de invloed van reiniging is van tijdelijke aard aangezien opvulling plaatsvindt door de continue-aanvoer van materiaal [lit. 3]; ➤
- afzettingen bij droogweerafvoer of bij afloop van de regenweerafvoer gaat vaak samen met structurele en hydraulische discontinuïteiten zoals verbindingen, verandering van bodemverhang en kruisingen [lit. 5].

4.4 Toetsing van de thema 6 aanbevelingen

Beperk vermenging van functies

De praktijkmetingen in Stolwijk bevestigen deze aanbeveling (duidelijke scheiding van rioolfuncties). Uit andere onderzoeken blijkt dat inzamelriolen overwegend schoon zijn vanwege het dynamisch karakter van de droogweerafvoer.

De stelselstructuur is bepalend voor het slibgedrag

De stelselstructuur is inderdaad van belang (meerdere parameters), maar bovendien speelt de aard en samenstelling van het sediment een belangrijke rol.

In goede huisaansluitleidingen komt geen slib voor

Geen bevindingen.

Het ontwerp van een zeer nauwkeurig DWA-ontwerp is wenselijk

Structurele en hydraulische discontinuïteiten zoals verbindingen, verandering van bodemverhang en kruisingen zijn bepalende parameters ten aanzien van zand- en slibafzetting. De praktijkmetingen in Stolwijk bevestigen deze aanbeveling (duidelijke DWA-structuur door aanbrengen DWA-drempels).

De vervuilingsgevoeligheid kan worden afgeleid uit situaties van DWA + geringe neerslag

De maximum slibtransportcapaciteit treedt op bij ca. 60-70% vullingsgraad, de gekozen ontwerpbelasting is hiermee redelijk in overeenstemming.

Riolen niet leggen maar “bouwen”

➤ Structurele en hydraulische discontinuïteiten zoals verbindingen, verandering van bodemverhang en kruisingen zijn bepalende parameters ten aanzien van zand- en slibafzetting. Meer aandacht aan het ontwerp en het instandhouden van een goed aangelegd stelsel reduceren dus de kans op zand- en slibafzettingen. ➤

+ beleidrichtlijn voor beheer van

Beheer richten op het optimaliseren van de vuilafvoer

- Gezien het feit dat vrij snel opvulling plaatsvindt van verwijderd sediment door nieuw sediment dient het beheer te worden gericht op uitvulling van hoeken en opvulling van gaten. ➤

4.5 Conclusies

Onder de aanname dat afgezet zanderig materiaal nauwelijks tot overstorting komt en continue aanvulling plaatsvindt van verwijderd materiaal ligt het niet voor de hand riolen 100% zelfreinigend te ontwerpen. Bronmaatregelen in de vorm van zandvangsers e.d. en het accepteren van enige vorm van vervuiling is meer (kosten)effectief. In het NWRW-onderzoek is geconcludeerd dat de vuiluitworp met name wordt bepaald door stootlozingen, verklaard uit de opwoeling van rioolslib. Volgens buitenlandse bevindingen worden de stootlozingen in hoofdzaak bepaald door de foul flush, verklaard uit het transport van de near-bed load.

Gezien de invloed van afzettingen op de afname in hydraulische afvoercapaciteit dient de toelaatbare sedimentafzetting te worden beperkt.

- Het continue "near-bed" transport is een belangrijke oorzaak van de "foul flush" en is een duidelijke vuilstroom die mogelijk kan worden beheerst. Ingrepen in het rioolstelsel die de stroomsnelheid/sleepspanning tijdens regenweersomstandigheden verhogen (b.v. minimaliseren aantal overstortlocaties) werken hierdoor wellicht averechts! Dit geldt niet voor ingrepen in het rioolstelsel die de stroomsnelheid/sleepspanning tijdens droogweersomstandigheden verhogen (onderzoek Stolwijk). ➤

5 Ontwerp van een zelfreinigend rioolstelsel

5.1 Inleiding

In 1996 is een publikatie verschenen met betrekking tot de definitie en kwantificering van zelfreinigende riolen [lit. 6]. In dit artikel wordt onderkend dat het zelfreinigend vermogen niet eenduidig kan worden gedefinieerd door alleen snelheid of sleepspanning, maar ook door andere factoren zoals : buisdiameter, ruwheid, vullingsgraad, sediment-afmeting en dichtheid, de cohesiefactor en de sediment-vracht en concentratie.

In eerste instantie wordt een definitie van het zelfreinigend vermogen gegeven met een uitwerking naar functionele eisen. Vervolgens is bekeken in hoeverre bepaalde begrippen kunnen worden gekwantificeerd.

5.2 Definitie zelfreinigend vermogen

Definitie

Een efficiënt zelfreinigend rioolsysteem heeft een sediment-transportcapaciteit die voldoende is om het evenwicht tussen slibafzettingen en slibopwoeling te handhaven, met een over de tijd uitgemiddelde slibafzetting die de kosten van constructie, beheer en onderhoud minimaliseert.

Functionele eisen

1. De buisstroming, groter of gelijk aan een rioolafhankelijke limiet, moet voldoende capaciteit hebben om een minimum concentratie van kleine zandkorrels of lichte deeltjes in suspensie te transporteren.
2. Buisstroming voor het transport van grofkorrelig materiaal moet voldoende zijn om de slibdiepte te limiteren tot een specifieke vullingsgraad.
3. Buisstroming met een bepaalde frequentie van voorkomen moet voldoende zijn om een zandlaag met een bepaalde cohesiviteit weer op te woelen.

Maatstaven

1. ontwerp-snelheid of sleepspanning in oplossing houden van slib;
2. ontwerp-snelheid of sleepspanning limiteren slibdiepte;
3. ontwerp-snelheid of sleepspanning opwoeling van slib.

Meetmethoden

- ad 1. snelheid bij 100% vulling en energieverhang;
- ad 2. grafieken;
- ad 3. snelheid bij 100% vulling en energieverhang.

Het is gebleken dat stroming bij gedeeltelijke vulling ($h/D > 0,2$) bij gelijk energieverhang een grotere sedimenttransportcapaciteit heeft dan bij volledige

vulling (maximum bij 60-70% vullingsgraad). Om deze reden is er voor de maatstaven 1 en 3 gekozen voor 100% vullingsgraad. De gedachte hierachter is dat als een riool zelfreinigend is bij vrijwel volledige vulling, dit ook zo is over een grootte bandbreedte van gedeeltelijke vullingsgraden.

5.3 Kwantificering van de maatstaven

Voor de kwantificering van de maatstaven is in het kader van dit onderzoek uitgegaan van karakteristieke sedimenteigenschappen, zoals deze zijn gevonden voor de gemiddelde situatie in Engeland.

De gemiddelde parameterwaarden zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristieke sedimenteigenschappen Engeland

vorm	Parameter	gem.	max.
slib in suspensie	conc. X (mg/l)	350	1000
	d ₅₀ (µm)	60	100
	dichtheid (kg/m ³)	2000	2500
afgezet slib	conc. X (mg/l)	50	200
	d ₅₀ (µm)	750	750
	dichtheid (kg/m ³)	2600	2600

X = sedimentconcentratie

d₅₀ = gemiddelde zeeffractie

Ter vergelijking zijn de waarden voor de nederlandse situatie verzameld [lit.1] en weergegeven in Tabel 2. De gegevens zijn gebaseerd op de analyse van ca. 200 slibmonsters van de rioolstelsels de Muntel en Valburg. De slibmonsters zijn vanwege technische problemen genomen in de putten en niet in de strengen.

Tabel 2 Karakteristieke sedimenteigenschappen Valburg en de Muntel

vorm	Parameter	gem.	max.
opgelost slib	conc. X (mg/l)	?	?
	d ₅₀ (µm)	?	?
	dichtheid (kg/m ³)	?	?
afgezet slib	conc. X (mg/l)	?	?
	d ₅₀ (µm)	200-250	250
	dichtheid (kg/m ³)	?	?

Uit Tabel 2 kan worden afgeleid dat slechts weinig relevante informatie beschikbaar is, maar dat de gemiddelde korrelgrootte van afgezet slib in de situatie Valburg en de Muntel aanzienlijk kleiner is. Het is niet bekend in hoeverre de slibmonsters in Valburg en de Muntel representatief zijn voor de nederlandse situatie. Naar verwachting is de gemiddelde korrelgrootte groter in meer hellende gebieden.

5.4 Buitenlandse ontwerpnormen

In de publikatie van 1996 [lit. 6] zijn de ontwerpnormen beschreven, zoals deze tot stand zijn gekomen in Engeland. Hierbij is onderscheid gemaakt naar regenwaterriolen en vuilwaterriolen en is een duidelijke knip gelegd bij de buisdiameter waarboven het slecht haalbaar is om 100% zelfreiniging te behalen.

Gemengde en regenwaterriolen

Buisdiameter ≤ 500 mm

Voor gemengde of regenwaterriolen met een diameter kleiner of gelijk aan 500 mm is functionele eis nr. 3 (opwoeling van slib) het gekozen ontwerpcriterium. De benodigde sleepspanning voor de opwoeling van afgezet cohesief slib bedraagt ca. 2 N/m^2 in het geval van een vlak slib-bed. In het geval van duinvormige afzettingen is de benodigde sleepspanning aanzienlijk hoger (ca. $6\text{--}7 \text{ N/m}^2$).

Buisdiameter > 500 mm

Voor gemengde of regenwaterriolen met een diameter groter dan 500 mm is functionele eis nr. 2 (limiteren slibdiepte) het gekozen ontwerpcriterium. Het ontwerpen van riolen met een toelaatbare slibdiepte van 1-2% van de buisdiameter is het meest economisch. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van een ontwerpgrafiek waarin voor een bepaalde sedimentkarakteristiek de minimum benodigde buishelling is uitgezet tegen de proportionele sedimentdiepte voor verschillende buisdiameters.

Vuilwaterriolen

Buisdiameter ≤ 500 mm

Voor vuilwaterriolen met een diameter kleiner of gelijk aan 500 mm is functionele eis nr. 3 (opwoeling van slib) het gekozen ontwerpcriterium. De benodigde sleepspanning voor de opwoeling van afgezet cohesief slib bedraagt ca. 2 N/m^2 .

Buisdiameter > 500 mm

Voor vuilwaterriolen met een diameter groter dan 500 mm is functionele eis nr. 1 (in oplossing houden van slib) het gekozen ontwerpcriterium. De benodigde sleepspanning voor het in oplossing houden van het slib bedraagt ca. 1 N/m^2 .

5.5 Verificatie van de ontwerpnormen

De toepasbaarheid van de methode is getoetst aan gegevensverzamelingen van Hong-Kong, Marseille en Belfast. Hieruit is gebleken dat (onder bepaalde aannamen voor ontbrekende gegevens) dat er geen tekortkomingen zijn in de ontwerpmethodiek.

5.6 Nederlandse ontwerpnormen

In Nederland worden riolen veelal gedimensioneerd op hydraulische afvoercapaciteit en soms gecontroleerd op sleepspanning. Als criterium voor het "zelfreinigend vermogen" wordt een ontwerpnorm aangehouden van 1 N/m^2 bij

droogweerafvoer. Uitgaande van een vullingsgraad van gemiddeld 10-30% komt dit criterium redelijk overeen met een sleepspanning van 2 N/m^2 bij 100% vulling (zie buitenlandse ontwerpnorm).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Gezien de resultaten van binnen- en buitenlands onderzoek is het een ijdele hoop een relatie te vinden tussen de stelselspecifieke eigenschappen en zand- en slibafzettingen zonder hierin de samenstelling, eigenschappen en het gedrag van rioolslib te betrekken.

In de nederlandse situatie wordt een stootlozing geassocieerd met de opwoeling van rioolslib, terwijl buitenlands onderzoek dit meer toeschrijft aan het “near-bed”-transport.

Het zelfreinigend ontwerpen van riolen is niet economisch, het accepteren van een bepaalde mate van slibafzetting (ca. 1-2%) heeft groot financieel voordeel en is acceptabel gezien het transportmechanisme van zanderig materiaal.

Na 1996 zijn de initiatieven met betrekking tot onderzoek naar zand- en slibafzettingen verzwakt, het is een dermate complexe materie dat wereldwijde bundeling van de krachten gewenst is.

Het is niet bekend of de buitenlandse ontwerpnormen voor economisch slibtransport ook van toepassing zijn in de nederlandse situatie.

6.2 Aanbevelingen

Aangenomen dat het “near-bed” transport een belangrijke rol speelt in de grootte van de vuilemissie mag een relatie worden verwacht tussen de grootte van het overstortdebiet, de vermaasdheid van het rioolstelsel en de vuilconcentratie van het overstortwater. Hoe groter het overstortdebiet en vertakter het stelsel des te groter het vermogen om het zich over de riool-/slibbodem bewegend materiaal (continue proces) mee te slepen/voort te stuwen richting de overstortput. Indien nader onderzoek (analyse bestaande meetreeksen) een positieve correlatie oplevert tussen de overstortintensiteit, vermaasdheid van het rioolstelsel en de vuilconcentratie van het overstortwater betekent dit dat bij het ontwerp van een goed functionerend rioolstelsel differentiatie van de vuilconcentratie per overstortput mogelijk is.

Onderzoek naar de samenstelling en eigenschappen van overgestort/gestort rioolslib levert een bijdrage aan de nederlandse slibkarakteristiek, waardoor vergelijking met buitenlands onderzoek en ontwerpnormen mogelijk wordt. Het geruimde slib, afkomstig van randvoorzieningen, zinker-constructies en riolen dient te worden onderzocht op o.a. korrelgrootte, valsnelheid en dichtheid.

Zanderig materiaal wat eenmaal in het riool is ingespoeld is moeilijk te verplaatsen, beperkt de hydraulische afvoercapaciteit en zorgt voor aanhechting

van vuil. Preventieve maatregelen in de vorm van het beperken van de instroom door zandvang-constructies, afdichten van lekkende voegen verdienen de benodigde aandacht.

Zanderig (uitgeloogd) materiaal afgezet in delen die niet onder vrij-verval tot afstroming kunnen komen (verloren berging) kan, mits het de hydraulische afvoercapaciteit niet belemmert, beter niet worden verwijderd omdat het relatief snel wordt ingenomen door agressiever, vers slib wat makkelijk opwoelt.

7 Literatuurlijst

1. Nationale Werkgroep Riolering, 1989, Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989;
2. R.M. Ashley, M.A. Verbanck, 1996, Mechanics of sewer sediment en erosion and transport, Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, No. 6, pp 753-765;
3. Mark O, Cerar U, Perrusquia G., 1996, Prediction of locations with sediment deposits in sewers, Wat. Sci. tech, Vol. 33, No. 9, pp 147-154;
4. Verbanck M.A., 1992, Field investigations on sediment occurrence and behaviour in Brussels Combined Sewers, Wat. Sci. Tech, Vol. 25, No. 8, pp 71-82;
5. Verbanck M.A., Ashley R.M., Bachoc A., 1994, International workshop on origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems, summary of conclusions. Water Research Vol. 28, No 1., pp 187-194
6. May R.W.P., Ackers J.C., Butler D., John S., 1996, Development of design methodology for self cleansing sewers. Wat. Sci. Tech. Vol.33, No. 9 pp 195-206;
7. Nationale Werkgroep Riolering, 1989, Thema 6, Processen in rioolstelsels, Heidemij Advies;
8. Kleijwegt R.A., 1992, On sediment transport in circular sewers with non-cohesive deposits;
9. Werkgroep Riolering West-Nederland, , 1995, Goed Functionerend Rioolstelsel hoofdrapport en deelrapporten, Heidemij Advies;
10. Stichting RIONED/STOWA/WRW, 1999, Onderzoek naar de effecten van een verbeterd stelselontwerp op de vuilemissie en waterkwaliteit, Arcadis Heidemij Advies;
11. Brombach H., Michelbach St., Wöhrle Chr., 1992, Schmutzstofftransport im Mischwasserkanal, Schadstoffe im Regenabfluß II, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
12. Afstudeeronderzoek Witteveen en Bos (mondelinge mededeling resultaat).