691

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

Waterschap Zeeuwse Eilanden

toetsing rendement van randvoorzieningen aan rioolstelsels (II)






Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

Waterschap Zeeuwse Eilanden

toetsing rendement van randvoorzieningen aan rioolstelsels (II)

registratie	projectcode	status
SECW-rap01-swac-2031	Gs79.1	definitief 2
Projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
ir. J.T.D. Tiegelaar	prof. dr. ir. F.H.L.R. Clemens	21 februari 2002

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. H.J. van Mameren	

Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

Het kwaliteit management systeem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens NEN-EN-ISO 9001 : 1994

©
Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE blz.

1. INLEIDING 1

2. UITGANGSPUNTEN RENDEMENTSBEREKENING BBB EN BBL 2

3. TE HANTEREN CRITERIA BBB EN BBL 3

4. SYSTEMATIEK VOOR DE BEREKENING VAN HET RENDEMENT VAN BERGBEZINKBASSINS MET REGENREEKSEN 4
4.1. Inleiding 4
4.2. Beschrijving van het debiet 4
Bepaling effectieve bezinkzone van ontwerp bergbezinkbassin 5
4.4. Bepaling rendementscurve 6
4.5. Berekenen meerjarig bezinkingsrendement 9
4.6. Resultaten 10
4.7. Criteria 10

5. SYSTEMATIEK VOOR DE BEREKENING VAN HET RENDEMENT VAN RONDE BERGBEZINKLEIDINGEN MET REGENREEKSEN 11
5.1. Inleiding 11
5.2. Beschrijving van het debiet 11
5.3. Bepaling effectieve bezinkzone van ontwerp ronde bergbezinkleiding 11
5.4. Bepaling rendementscurve 12
5.5. Berekenen meerjarig bezinkingsrendement 15
5.6. Resultaten 15
5.7. Criteria 16

6. TOETSING SYSTEMATIEK BERGBEZINKRIOLEN 18
6.1. Middelburg 18
6.2. Tholen 20

laatste bladzijde 24

1. INLEIDING

opdracht

Het Waterschap Zeeuwse Eilanden heeft Witteveen+Bos bij brief d.d. 24 maart 2000 met kenmerk 2000/05575 opdracht gegeven voor het opstellen van een rapportage over een eenduidige aanpak van de toetsing van een rendementsberekening voor randvoorzieningen. Dit heeft geleid tot een rapportage d.d. 18 mei 2001. Dat rapport is vanwege diverse wijzigingen komen te vervallen en wordt volledig door deze rapportage vervangen.

inleiding

Op dit moment is een methodiek om op eenduidige wijze het functioneren van randvoorzieningen te toetsen niet beschikbaar. Voor bergbezinkbassins is, in landelijke documenten, een en ander in grote lijnen wel uitgewerkt. Het betreft hier de "Handleiding Ontwerp Randvoorzieningen II 1995" van de Noord-Brabantse waterkwaliteitsbeheerders en een uitwerking voor het rendement in een studie van de WRW, "Toetsing criteria beleidsnotitie randvoorzieningen", uit december 1996. In dat document wordt ingegaan op het bezinkingsrendement van bergbezinkbassins, variabel in de tijd.

Voor bergbezinkleidingen is eenzelfde systematiek nog maar deels beschikbaar. Een leiding kan wel worden ontworpen op toelaatbare schuifspanningen maar een rendementsberekening kan niet worden uitgevoerd. Doordat geen rendementsberekeningen kunnen worden gemaakt, kunnen hieraan ook geen eisen worden gesteld bij het ontwerp. Ook kunnen bergbezinkbassins en bergbezinkleidingen niet onderling vergeleken worden.

Voor bergbezinkleidingen is in het kader van deze studie een systematiek ontwikkeld waarmee rendementsberekeningen kunnen worden uitgevoerd. Waardoor toetsing mogelijk wordt. Dit is uitgewerkt in een stappenplan. De methodiek is gebaseerd op een regenreeksberekening volgens de Leidraad Riolering, module C2100.

De nieuwe methodiek sluit bovendien aan bij de bestaande methodiek voor bergbezinkbassins. Hierdoor is het in principe mogelijk bergbezinkbassins en bergbezinkleidingen onderling te vergelijken. Desondanks moet bij de onderlinge vergelijking tussen bergbezinkbassins en -leidingen de nodige voorzichtigheid worden betracht. Het rendement van een bergbezinkleiding valt meestal hoger uit dan voor een bergbezinkbassin. Het is daarom verstandig het ontwerp van de bergbezinkleidingen ook toetsen voor deeltjes met een lagere valsnelheid.

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten beschreven die zijn gehanteerd binnen deze studie. De toetsingscriteria waaraan een bergbezinkbassin en een bergbezinkleiding moeten voldoen zijn gegeven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 en 5 wordt achtereenvolgens beschreven op welke wijze de rendementsberekening plaatsvindt voor bergbezinkbassins en bergbezinkleidingen. Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 het ontwerp van een aantal bestaande bergbezinkleidingen, als voorbeeld van de systematiek, getoetst.

2. UITGANGSPUNTEN RENDEMENTSBEREKENING BBB EN BBL

Bij het uitvoeren van de studie zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:
- De nieuwe methodiek is alleen bruikbaar voor **ronde** bergbezinkleidingen.
- Rendement wordt berekend met behulp van een 'standaarddeeltje' met een valsnelheid van 10 m/h, voor de vergelijking van verschillende ontwerpen wordt ook gebruik gemaakt van theoretische deeltjes met kleinere valsnelheden.
- Kritische schuifspanning waarbij opwoeling en uitspoeling van bezonken slibdeeltjes plaatsvindt, is 0,10 N/m² bij een ruwheidswaarde van de randvoorziening van 1 mm.
- Rendement wordt berekend op basis van een overstortingenreeks die bepaald is met een regenreeksberekening op basis van een 10 jarige regenreeks (volgens module C2100 van de Leidraad Riolering).
- Bij de berekening van de rendementen wordt uitgegaan van het rendement voor 5 minuten tijdstappen, waarbij het debiet over 5 minuten constant wordt verondersteld (conform SUF-HYD resultaten 1.10, regenreeksuitvoer).
- Bij bergbezinkleidingen wordt ervan uitgegaan dat de stroming in de leiding niet instabiel kan worden. Doordat de lengte van een BBL relatief groot is ten opzichte van de diameter en doordat het stromende water volledig omsloten is, wordt de kans op instabiliteit van de stroming klein geacht. Hierdoor is het rendement bij kleine debieten groot. Voor "waterlopen" met een vrije waterspiegel kan een maat voor de stabiliteit van de stroming worden verkregen met het getal van Froude. Voor volledig gevulde leidingen (geen vrije waterspiegel) heeft het getal van Froude geen betekenis.

Een wetenschappelijke onderbouwing van deze laatste aanname ontbreekt in dit onderzoek echter. Door deze aanname is het rendement van bergbezinkleidingen, in tegenstelling tot bergbezinkbassins, bij kleine debieten groot.

beperkingen
- De beschreven methodiek voor bergbezinkleidingen is alleen geldig voor ronde leidingen. Voor rechthoekige leidingen zijn nog geen specifieke formules afgeleid.
- De rendementsberekening voor bergbezinkleidingen is alleen geldig wanneer de leiding volledig gevuld is. Anders geldt de methodiek voor bergbezinkbassins.

3. TE HANTEREN CRITERIA BBB EN BBL

Een ontwerp van een BBB of BBL kan worden getoetst op basis van resultaten van een regenreeksberekening (minimaal 10 jaar volgens Leidraad Riolering, module C2100). Hierbij worden de volgende criteria gehanteerd:

- meerjarig gemiddeld bezinkingsrendement is ten minste 50 %, dit wordt berekend voor een "standaarddeeltje" met een bezinksnelheid van 10 m/h;
- alle overstortgebeurtenissen met een volume dat groter is dan het volume optredend bij een frequentie van 1 keer per jaar, moeten een bezinkingsrendement hebben van minimaal 20 % (uitgaande van het "standaarddeeltje");
- de optredende schuifspanning mag slechts 1 maal per 2 jaar gedurende een periode van 15 minuten een waarde van 0,1 N/m^2 overschrijden.

De stroomsnelheden in een BBL zijn over het algemeen groter dan in een BBB. Daarom speelt het laatste criterium, dat betrekking heeft op de kritische schuifspanning, bij bergbezinkleidingen een belangrijker rol dan bij bergbezinkbassins.

In de bestaande toetsingscriteria voor bergbezinkbassins wordt een waarde tussen 0,1 en 0,25 N/m^2 gehanteerd als toelaatbare grens. Binnen deze studie is gekozen voor de waarde 0,1 N/m^2, zijnde een richtwaarde. Mocht deze waarde niet haalbaar blijken dan zal in nader overleg met het waterschap een oplossing moeten worden gezocht.

Rekening dient te worden gehouden met het feit dat de rendementen worden berekend op basis van een theoretische benadering met een aantal aannamen (zie ook uitgangspunten). Het werkelijke rendement van een randvoorziening kan niet worden berekend. Het werkelijk functioneren van een randvoorziening kan alleen worden gecontroleerd op basis van metingen en is bovendien afhankelijk van de inkomende vuilvracht.

Op basis van deze theoretische berekening kan wel iets worden gezegd over het functioneren van de betreffende BBB of BBL achter de betreffende overstort met haar specifieke gedrag. Ook is het mogelijk het rendement van verschillende ontwerpen voor de betreffende overstortlocatie met elkaar te vergelijken.

4. SYSTEMATIEK VOOR DE BEREKENING VAN HET RENDEMENT VAN BERGBEZINKBASSINS MET REGENREEKSEN

4.1. Inleiding

Voor het bepalen van het rendement van een bergbezinkbassin volgens de in dit hoofdstuk beschreven systematiek is het noodzakelijk te beschikken over de uitkomsten van een regenreeksberekening, een eerste ontwerp van het BBB en een mogelijkheid om het rendement te bepalen (Camp grafiek of methode Kluck). In dit hoofdstuk wordt een voorbeeld BBB gehanteerd met een bergend volume van 2020 m³.

Stap 1: is het beschikbaar krijgen van het debiet over de interne overstortrand van het BBB. Dit type berekening is in principe omschreven in de module C2100 van de Leidraad Riolering.

Stap 2: is het bepalen van de effectieve bezinkzone van het bassin.

Stap 3: is het bepalen van de rendementscurve bij verschillende debieten.

Stap 4: is het combineren van de uitkomsten van stap 1 en stap 3 met elkaar en verwerken in overzichtelijke tabellen en grafieken.

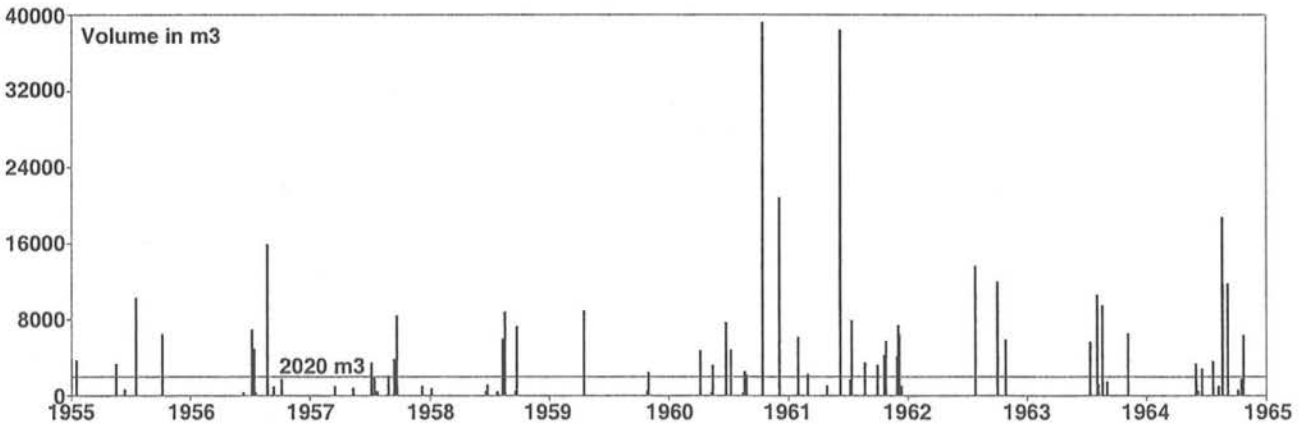
4.2. Beschrijving van het debiet

Wanneer het debiet over de interne overstortrand en de inhoud van het BBB bekend zijn, kan het debiet over de externe overstortrand worden afgeleid. Het debiet dat optreedt tijdens het vullen van het bassin heeft geen invloed op het bezinkingsrendement. Voor het beschrijven van het debiet in de randvoorziening is het hierdoor voldoende het debiet over de externe overstortrand van het bassin te kennen.

Deze werkwijze wordt gehanteerd, omdat het volume van de randvoorziening bepaald moet worden op basis van een gemaakte reeksberekening. In feite wordt alleen de interne overstort meegenomen in de reeksberekening.

Het overstortend debiet kan eenvoudig worden opgeslagen in het standaard uitwisselingsformaat SUFHYD-resultaten versie 1.10. In dit formaat wordt het volume in liters per 5 minuten opgeslagen met vermelding van datum en tijd.

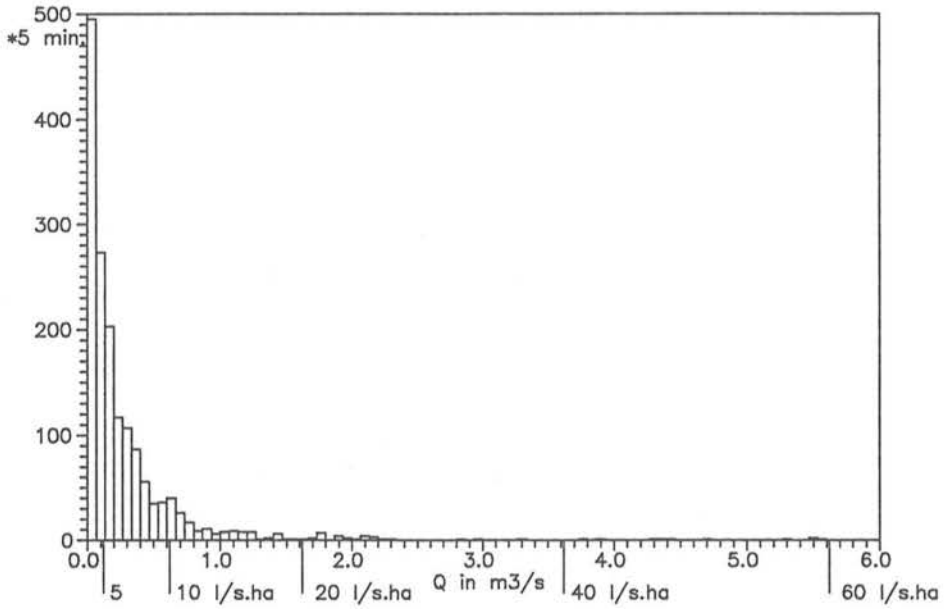
Een gebruikelijke wijze om het totale volume per overstorting weer te geven is de dagsomgrafiek, zie ook afbeelding 4.1. Indien het totale overstortingsvolume over de overstort (zonder randvoorziening) weergegeven is, dan is deze afbeelding een hulp bij het bepalen van een effectieve omvang van het bassin. In deze afbeelding is een volume lijn aangegeven, die de totale inhoud van de randvoorziening



Afbeelding 4.1. Dagsomgrafieken met volume lijn BBB (2020 m³)

weergeeft. Alle dagsommen die boven deze lijn uitkomen, zijn externe overstortingen.

Uitgaande van SUFHYD-resultaten is het mogelijk te bepalen hoeveel keren het bergbezinkbassin belast wordt met welk debiet. Hiertoe is in afbeelding 4.2. een histogram opgenomen met berekende debieten per 5 minuten. Opvallend aan deze afbeelding is het grote aantal vakjes in de lage range van het debiet. Wordt voor dezelfde overstort uitgezet wat de debieten zijn bij 20, 40 en 60 l/s.ha dan valt op dat deze gemiddeld (veel) hoger uitvallen. De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat het ontwerpen van bergbezinkbassins bij hogere regenintensiteiten niet direct leidt tot goed werkende bassins. De histogram is voor iedere overstort anders en kan gezien worden als een soort vingerafdruk van de overstort.

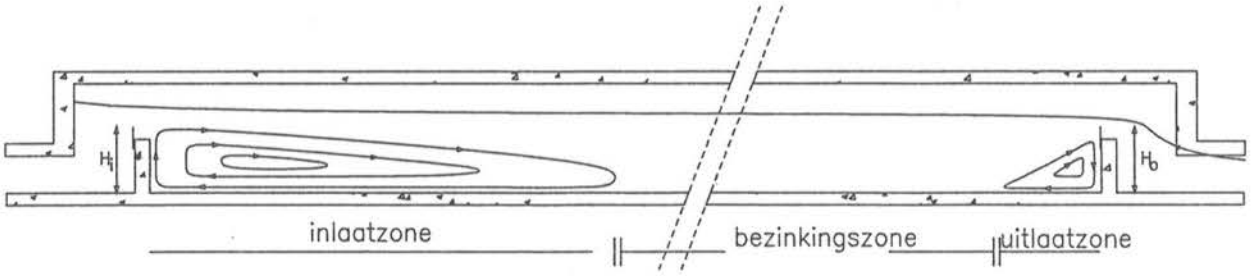


Afbeelding 4.2. Histogram van optredende debieten per 5 minuten en daarnaast de debieten die optreden bij 5, 10, 20, 40 en 60 l/s.ha

4.3. Bepaling effectieve bezinkzone van ontwerp bergbezinkbassin

De tweede stap ter bepaling van het rendement van een bergbezinkbassin bestaat uit het bepalen van de effectieve bezinkzone. De wijze waarop het ontwerp van een bergbezinkbassin tot stand komt, is beschreven in de "Handleiding Ontwerp Randvoorzieningen II 1995" van de Noord-Brabantse waterkwaliteitsbeheerders. Met name in Bijlage 1: "Ontwerp van gesloten bergbezinkvoorzieningen" wordt uitgebreid ingegaan op de techniek van het ontwerpen.

De effectieve bezinkzone wordt bepaald door de totale lengte van het bassin te verminderen met de lengte van de **inlaatzone** (bij interne drempel) en de **uitlaatzone** (bij de externe overstortrand). Schematisch is dit weergegeven in afbeelding 4.3.



Afbeelding 4.3. Schema inlaat-, bezink- en uitlaatzone

De inlaatzone is 8 maal het verschil tussen drempelpeil en bodemhoogte van het bassin. Bij toepassing van een diffusiewand is de inlaatzone 4 maal de onderlinge afstand tussen de gaten in de diffusiewand. De uitlaatzone heeft een lengte van 1,5 maal het verschil tussen extern drempelpeil en bodempeil.

4.4. Bepaling rendementscurve

De bepaling van de rendementscurve (stap 3) bestaat uit drie onderdelen. Eerst wordt voor het betreffende ontwerp voor verschillende debieten het rendement bepaald. Het rendement wordt berekend op basis van de Camp-grafiek of de formules van Kluck. De formules van Kluck zijn te vinden in de publicatie "Het ontwerp van optimaal functionerende bergbezinkbassins", uitgegeven door Stowa in 1997. Uit de berekende punten volgt de rendementscurve voor het betreffende ontwerp. Vervolgens wordt de ondergrens waarvoor de bepaalde rendementscurve nog geldig is vastgesteld aan de hand van het getal van Froude. Tenslotte wordt de maatgevende bovengrens vastgesteld met behulp van het getal van Reynods en het schuifspanningscriterium.

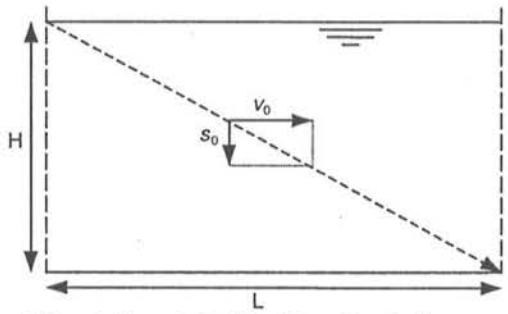
rendementscurve

In dit voorbeeld wordt de rendementscurve bepaald met behulp van de Camp-grafiek, de grafiek is opgenomen in afbeelding 4.5. Het rendement is afhankelijk van:

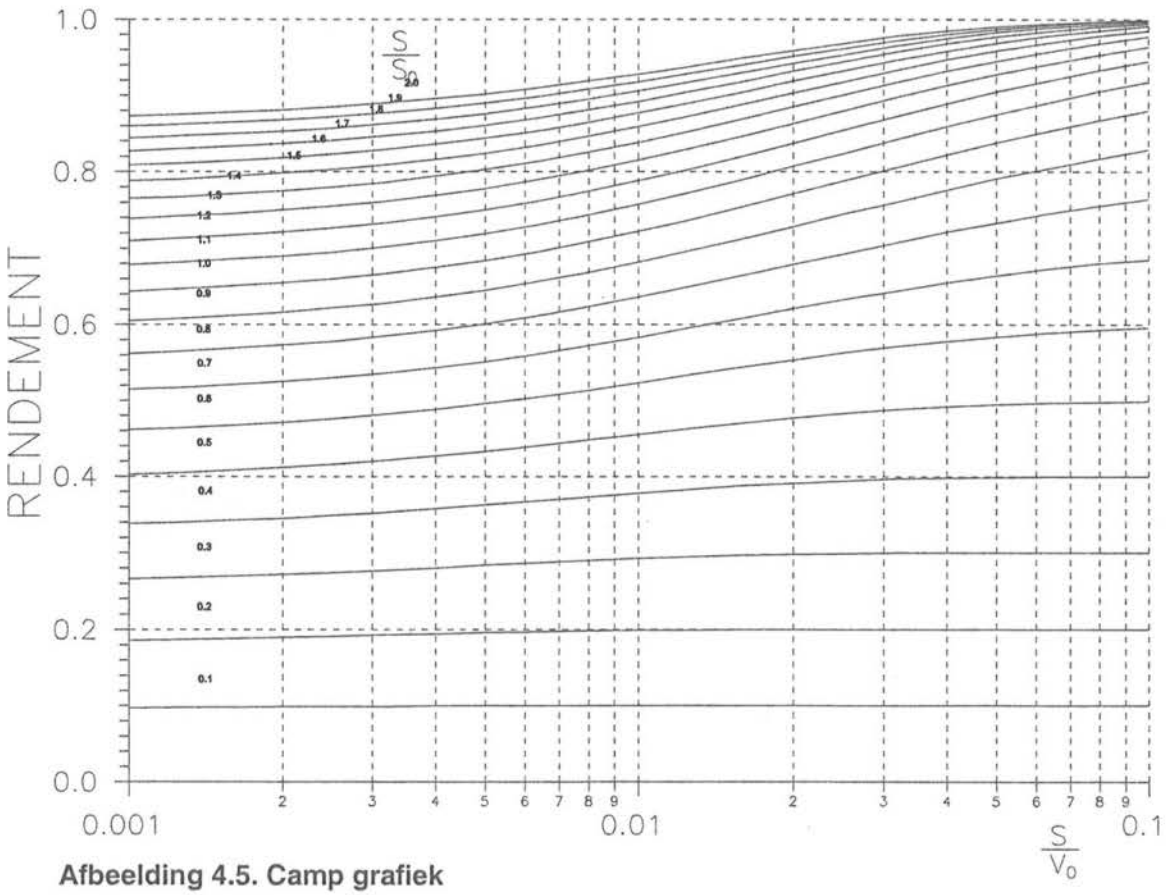
$$\frac{s_0}{v_0} = \frac{H}{L}$$

met:

s_0	oppervlaktebelasting	m/s
v_0	stroomsnelheid	m/s
H	hoogte waterkolom	m
L	lengte bezinkzone	m
S	bezinksnelheid maatgevende deeltje (10 m/h)	m/s



Afbeelding 4.4. Werking bezinkzone



Afbeelding 4.5. Camp grafiek

In afbeelding 4.4. is zichtbaar dat voor een bassin met een bezinkzone met een lengte L en een diepte H, bij een stroomsnelheid V_0 een zeker deeltje met een bezinksnelheid S en eenzelfde oppervlaktebelasting S_0 nog net bezinkt.

Aan te raden is om de rendementslijnen voor verschillende "deeltjes" te bepalen, met verschillende bezinksnelheden. Normaal wordt een bezinksnelheid gehanteerd van 10 m/h, additioneel kunnen 5 en 2 m/h gekozen worden.

onder- en bovengrens

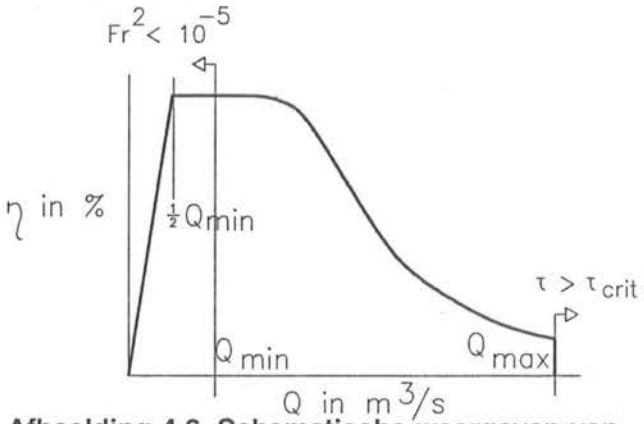
De rendementscurves worden beperkt door een tweetal debieten. De ondergrens Q_{min} wordt gevormd door het moment dat de stroming instabiel dreigt te worden ($Fr^2 < 10^{-5}$). De bovengrens Q_{max} wordt overschreden wanneer de stroming te turbulent wordt (Re > 100.000) waardoor geen bezinking meer optreedt **of** wanneer bezonken materiaal opgewoeld wordt (τ_{cr} wordt overschreden), hiervoor wordt een waarde voor de schuifspanning aangehouden van τ_{cr}=0,1 N/m^2.

De verwachting is dat de onderwaarde Q_{min} niet direct tot instabiliteit zal leiden, zodat de curve niet direct een rendement 0 zal hebben. In het rapport "Toetsing criteria beleidsnotitie randvoorzieningen" is daarom aangenomen dat het rendement het volgende verloop heeft:

$Q = 0$ rendement = 0%

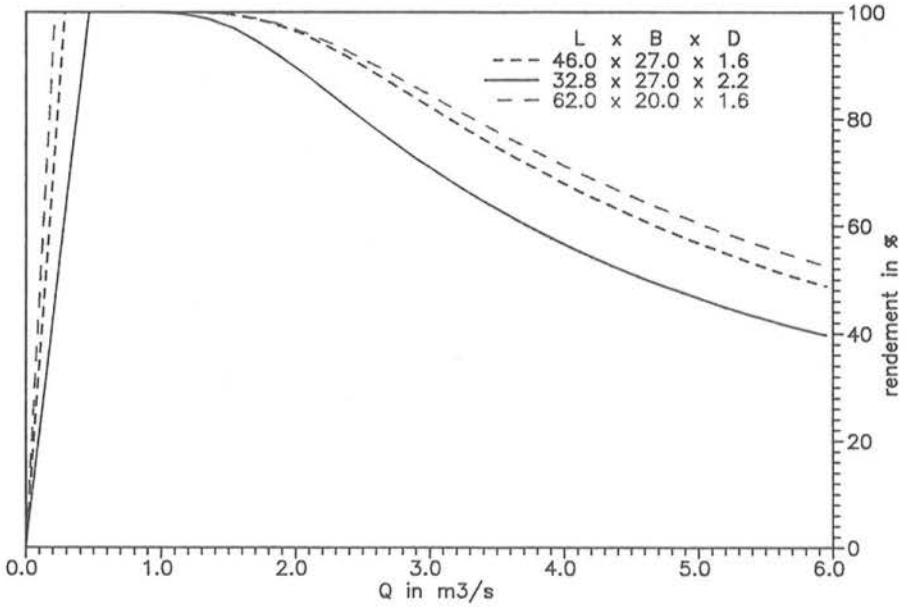
$Q = 1/2Q_{min}$ rendement = rendement bij Q_{min}

Daartussen: lineair verloop, in afbeelding 4.6. is dit verloop schematisch weergegeven.

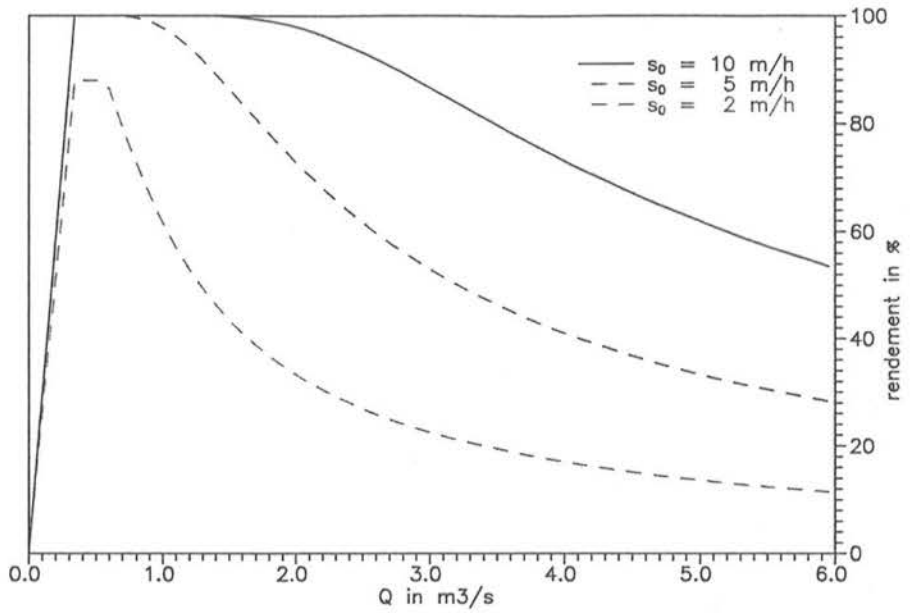


Afbeelding 4.6. Schematische weergaven van het rendementsverloop

Vanaf dit punt is het mogelijk verschillende ontwerpen met elkaar te vergelijken, door de rendementscurve voor verschillende verhoudingen voor lengte, breedte en diepte te bepalen. In afbeelding 4.7. is dit gedaan voor een drietal ontwerpen met eenzelfde valsnelheid voor het standaarddeeltje (10 m/h). Op het eerste gezicht lijken de ontwerpen niet veel te verschillen, de resultaten met de regenreeks verschillen echter enorm (tussen 29 en 51 %).

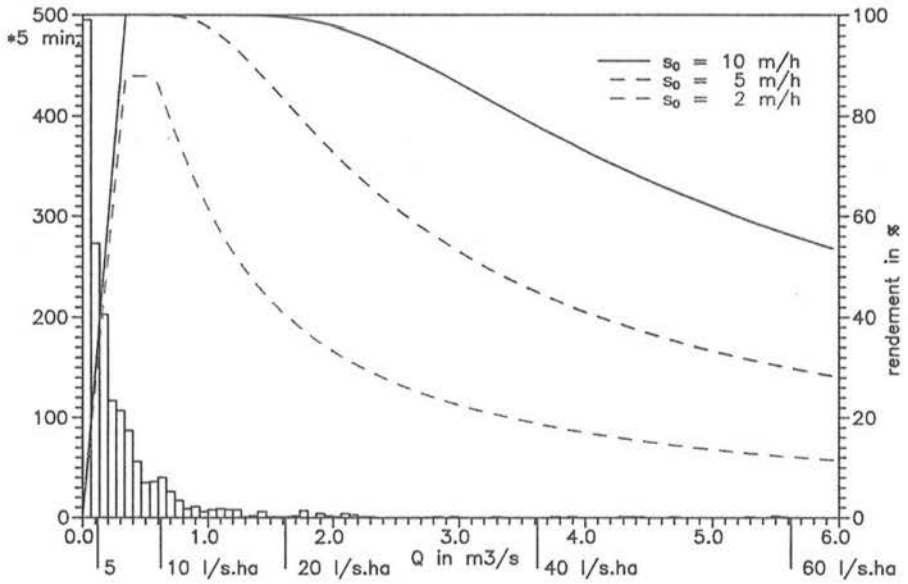


Afbeelding 4.7. Rendementcurves bij verschillende ontwerpen voor standaarddeeltje (10 m/h)



Afbeelding 4.8. Bezinkrendement voor 3 standaarddeeltjes

In afbeelding 4.8. is het verloop van het rendement voor één ontwerp bij drie verschillende standaarddeeltjes weergegeven. Hierbij is steeds hetzelfde ontwerp aangehouden, maar is de bezinksnelheid van de deeltjes gevarieerd. Het combineren van de afbeeldingen 4.2. en 4.8. geeft al een goed beeld of het ontwerp voldoet aan de eisen. Als het grootste aantal 5-minuten vakjes bij een ander debiet optreedt dan het maximale rendement, dan dient het ontwerp kritisch beschouwd te worden.



Afbeelding 4.9. Combinatie figuur met histogram van debieten en rendement bij verschillende standaarddeeltjes

4.5. Berekenen meerjarig bezinkingsrendement

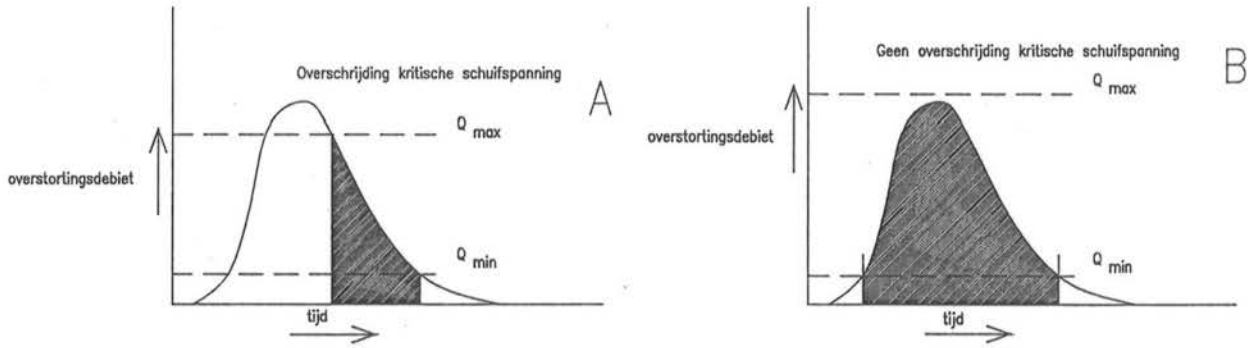
De laatste stap in de bepaling van het rendement van een bergbezinkbassin bestaat uit het combineren van de voorgaande stappen. Het rendement van een bergbezinkbassin kan worden berekend op basis van de uitkomsten van een regenreeks met behulp van de volgende formule:

$$\eta_{bez} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_r} \eta(Q(t))dt \qquad (1)$$

met:

η_{bez}	gemiddeld bezinkingsrendement
T_r	lengte regenreeks
T_n	totale overstortduur
$Q(t)$	overstortingsdebiet als functie van de tijd
$\eta(Q(t))$	rendement als functie van het debiet in de tijd

Het rendement wordt in deze formule tijdsafhankelijk gesteld. In de formule staat aangegeven dat voor elk debiet (tijdstap 5 minuten) uit de regenreeks het bijbehorende rendement wordt bepaald uit de curve. De totale som van rendement per tijdstap wordt gedeeld door de totale overstortingsduur. De enige uitzondering ontstaat bij overbelasting van het BBB. Het rendement van een gehele overstorting tot dan toe wordt nul op het moment dat τ_{cr} (bij Q_{max}) wordt overschreden. Er wordt verondersteld dat alles instantaan opwoelt. Het rendement van de voorgaande overstortingen blijft uiteraard wel bestaan. In afbeelding 4.10. is dit grafisch weergegeven.



Afbeelding 4.10. Verloop rendement over een overstorting

Wanneer een bypass constructie wordt toegepast om uitspoeling van deeltjes te voorkomen, dan wordt de gebruikte formule:

$$\eta_{bez_tot} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_r} \left(\frac{\eta(Q(t)_{Bassin}) * Q(t)_{Bassin}}{Q(t)_{totaal}} \right) dt \qquad (2)$$

met:

η_{bez_tot}	gemiddeld bezinkingsrendement met werkende bypass
T_r	lengte van de regenreeks
T_n	totale overstortingsduur
$Q(t)_{Bassin}$	overstortdebiet als functie van de tijd door het bassin
$Q(t)_{total}$	totaal overstortingsdebiet
$\eta(Q(t)_{Bassin})$	rendementscurve als functie van het debiet door het bassin

Deze formule is een bewerking van de voorgaande formule in de zin dat het rendement omlaag gaat met de factor Q_{bassin}/Q_{totaal}, omdat het rendement van het bezinkingsrendement van het overstortwater dat over de bypass gaat nul is.

4.6. Resultaten

In tabel 4.1. is het resultaat opgenomen van de uitgevoerde berekeningen. Deze weergave sluit aan bij SUFHYD Resultaten, maar dan toegesneden op het rendement van het bassin.

Tabel 4.1. Voorbeeld presentatie resultaten

```
Regenreeks          :   de Bilt 15 min. 1955-1964
Data bestand        :   BBB2020.001

Inhoud              :   2020.0 m3

Bezinkzone          :   1987.2 m3
Lengte              :   46.0 m
Breedte             :   27.0 m
Gem. Diepte         :   1.6 m
Helling             :   0.005 -
Ruwheid             :   0.001 m
Overstortlengte     :   27.0 m
Aantal straten      :   3 -
Overstortcoeff.     :   1.4 -

Bezinksnelheid      :   10.0 m/h
Tau critisch        :   0.1 N/m2

Qmin =              0.57267 m3/s   FR^2 < 10^(-5)
Qmax =              13.43559 m³/s  Tau crit > 0.1

het tijdsgemiddeld rendement bedraagt 85%
het aantal overstortingsgebeurtenissen dat de kritische schuifspanning
wordt overschreden bedraagt 4 van de 46
```

jaar	dag	uur	minuten	duur	volume	T-rend	volgnr
55	304	1	30	1406	8276	79.5	1
61	98	13	50	1000	4438	87.3	2
64	12	19	35	1874	4340	78.2	3
58	154	15	10	800	1729	53.4	4
51	42	7	5	1154	1314	54	5
..	..	..	..	..	..	..	..
60	245	20	45	510	84	84.5	45
59	18	5	5	100	42	78.5	46
62	164	2	10	0	0	0	47
55	248	14	20	0	0	0	48
					290096	84.7	

4.7. Criteria

Op basis van tabel 4.1. kan worden gecontroleerd of wordt voldaan aan de gestelde eisen:

- het meerjarig bezinkingsrendement moet minimaal 50 % bedragen bij toepassing van een 10-jarige regenreeks in combinatie met toepassing van een standaard deeltje met bezinksnelheid van 10 m/h;
- alle overstortingsgebeurtenissen met een volume groter dan horend bij 1 keer per jaar, moeten een bezinkingsrendement hebben van minimaal 20 %;
- de optredende schuifspanning mag slechts gedurende 1 maal per 2 jaar gedurende een periode van 15 minuten een waarde van 0,1 N/m^2 overschrijden.

Aan eis 1 wordt voldaan omdat het gemiddeld bezinkingsrendement in het voorbeeld bijna 85 % bedraagt. Wanneer de lijst naar grootte van de overstortende volumen wordt gesorteerd moet het bezinkingsrendement bij de grote overstorten minimaal 20 % zijn. Hiermee wordt in dit voorbeeld aan deze tweede eis voldaan. Ook aan de derde eis wordt voldaan omdat de schuifspanning in 10 jaar maar 4 maal wordt overschreden.

5. SYSTEMATIEK VOOR DE BEREKENING VAN HET RENDEMENT VAN RONDE BERGBEZINK-LEIDINGEN MET REGENREEKSEN

De methode om een rendementsberekening uit te voeren voor ronde bergbezinkleidingen is grotendeels hetzelfde als voor bergbezinkbassins. In dit hoofdstuk zal daarom dezelfde grote lijn zijn te herkennen als in hoofdstuk 4. Gezien deze overlap worden een aantal zaken korter beschreven. Alleen de stap waarbij de rendementscurve wordt berekend, is anders. De Campgrafiek is vervangen door een rendementsberekening met behulp van een formule. Deze formule ter bepaling van het bezinkingsrendement van ronde bergbezinkleidingen is in deze studie ontwikkeld. De afleiding van de formule is gebaseerd op het afstudeerrapport "Sedimenttransport in een rioolleiding" van F.H.L.R. Clemens uit juli 1986. In dit hoofdstuk wordt een voorbeeld BBL gehanteerd van 150 m^3.

5.1. Inleiding

Net als voor het bepalen van het rendement van een bergbezinkbassin is voor het bepalen van het rendement van een bergbezinkleiding ook de uitkomst van een regenreeksberekening noodzakelijk.

Stap 1: is het beschikbaar krijgen van het debiet over de interne overstortrand van de BBL. Dit type berekening is in principe omschreven in de Leidraad Riolering, module C2100.

Stap 2: is het bepalen van de effectieve bezinkzone van de bergbezinkleiding.

Stap 3: is het bepalen van de rendements curve bij verschillende debieten.

Stap 4: is het combineren van de uitkomsten van stap 1 en stap 3 met elkaar en verwerken in overzichtelijke tabellen en grafieken.

5.2. Beschrijving van het debiet

Wanneer het debiet over de interne overstortrand en de inhoud van het BBL bekend zijn, kan het debiet over de externe overstortrand worden afgeleid. Het debiet dat optreedt tijdens het vullen van de leiding heeft geen invloed op het bezinkingsrendement. Voor het beschrijven van het debiet in de randvoorziening is het hierdoor voldoende het debiet over de externe overstortrand van het bassin te kennen.

Het debiet kan eenvoudig worden opgeslagen in het standaard uitwisselingsformaat SUF-HYD-resultaten versie 1.10. In dit formaat wordt het volume in liters per 5 minuten opgeslagen met vermelding van datum en tijd.

Uitgaande van SUF-HYD-resultaten is het mogelijk te bepalen hoeveel keren de randvoorziening belast wordt met welk debiet.

5.3. Bepaling effectieve bezinkzone van ontwerp ronde bergbezinkleiding

De tweede stap ter bepaling van het rendement van een bergbezinkleiding bestaat uit het bepalen van de effectieve bezinkzone. De wijze waarop het ontwerp van een bergbezinkleiding tot stand komt is beschreven in de "Handleiding Ontwerp Randvoorzieningen II 1995" van de Noord-Brabantse waterkwaliteitsbeheerders. In Bijlage 3: "Berekeningsvoorbeeld bergbezinkriool" van deze handleiding wordt een voorbeeld uitgewerkt.

Voor de bepaling van de lengte van een bergbezinkleiding kan worden uitgegaan van de vuistregel dat de lengte van de leiding minimaal 50 keer de diameter moet zijn (Noord-Brabantse waterkwaliteitsbeheerders). De invloed van de lengte op het rendement van de BBL kan met de nieuwe methodiek worden bepaald. Deze minimum eis voor de lengte kan daarom worden losgelaten zodat ook leidingen met kleinere lengte-diameter verhoudingen mogelijk zijn. Het is daarbij echter wel noodzakelijk de effectieve bezinkzone te bepalen.

De effectieve bezinkzone wordt bij een rechte leiding zonder knikken of bochten bepaald door de totale lengte van de leiding te verminderen met de lengte van de **inlaatzone** (bij interne drempel) en de **uitlaatzone** (bij externe overstortrand). Is een knik of bocht aanwezig dan moet de berekende effectieve bezinkzone bovendien worden verminderd met 12 tot 16 maal de diameter. De inlaatzone wordt aangenomen op 8 keer de diameter, de uitlaatzone 2 keer de diameter. Bij gewone rechte bergbezinkleidingen moet de leidinglengte dus worden verminderd met 10 maal de diameter om de effectieve bezinkzone te berekenen.

5.4. Bepaling rendementscurve

De bepaling van de rendementscurve (stap 3) bestaat uit twee onderdelen. Eerst wordt voor het betreffende ontwerp van de bergbezinkleiding op basis van de ontwikkelde formule de rendementscurve berekend. Vervolgens wordt de bovengrens vastgesteld met behulp van het Reynolds getal en het schuifspanningscriterium.

rendementscurve

De rendementscurve voor het betreffende ontwerp van de bergbezinkleiding wordt berekend met behulp van de volgende formules:

Bepaling relatie debiet/rendement:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{L}{L_a}} \qquad (3)$$

met:

$$L_a = \frac{4Q}{\pi DS} e^{-\left[\frac{18\log\left(\frac{3D}{k_n}\right)\pi D^2 S}{4Q\sqrt{g}*0.2171}\right]} \qquad (4)$$

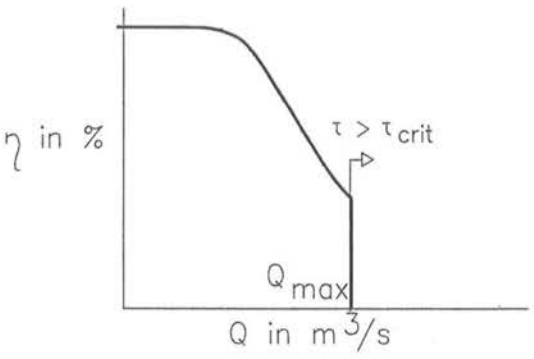
waarin:

Q	debiet	m^3/s
D	diameter	m
L	lengte (effectieve bezinkzone)	m
L_a	aanpassingslengte	m
g	zwaartekrachtversnelling	$m^{0.5}/s$
S	bezinksnelheid	m/s
k_n	ruwheid	m
η	rendement	-

De formule is afgeleid uit een integraal over de hoogte van een ronde leiding. Hierdoor is de formule alleen geschikt voor ronde leidingen. De formule vindt haar oorsprong in "Sedimenttransport in een rioolleiding" (Clemens 1986).

bovengrens

De rendementscurve wordt beperkt door een bovengrens (Q_{max}), deze wordt overschreden op het moment dat de stroming te turbulent wordt (Re > 100.000) waardoor geen bezinking meer optreedt **of** wanneer bezonken materiaal opgewoeld wordt (τ_{cr} wordt overschreden), hiervoor wordt een waarde voor de schuifspanning aangehouden van



Afbeelding 5.1. Schematische weergave van het rendementsverloop

τ_{cr}=0,1 N/m^2. Vanaf deze maximale waarde voor het debiet wordt aangenomen dat het rendement van de BBL nul is. Wanneer de schuifspanning wordt overschreden wordt bovendien aangenomen dat al het tijdens de bui bezonken materiaal weer wordt opgewoeld.

In afbeelding 5.1. is schematisch het verloop van een rendementscurve voor een bergbezinkleiding weergegeven. Door de aanname dat bij kleine debieten geen kortsluitstromingen optreden, is het rendement voor kleine debieten maximaal. Bij groter wordende debieten neemt het rendement af (de curve daalt). Bij overschrijding van Qmax is zichtbaar dat de curve wordt afgebroken en het rendement 0 % wordt.

De schuifspanning kan worden berekend met behulp van de volgende formules:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot i_e \qquad (5)$$

$$i_e = \frac{v_0^{\,2}}{C^2 \cdot R} \qquad (6)$$

$$C = 18 \cdot \log \frac{12 \cdot R}{k_n} \qquad (7)$$

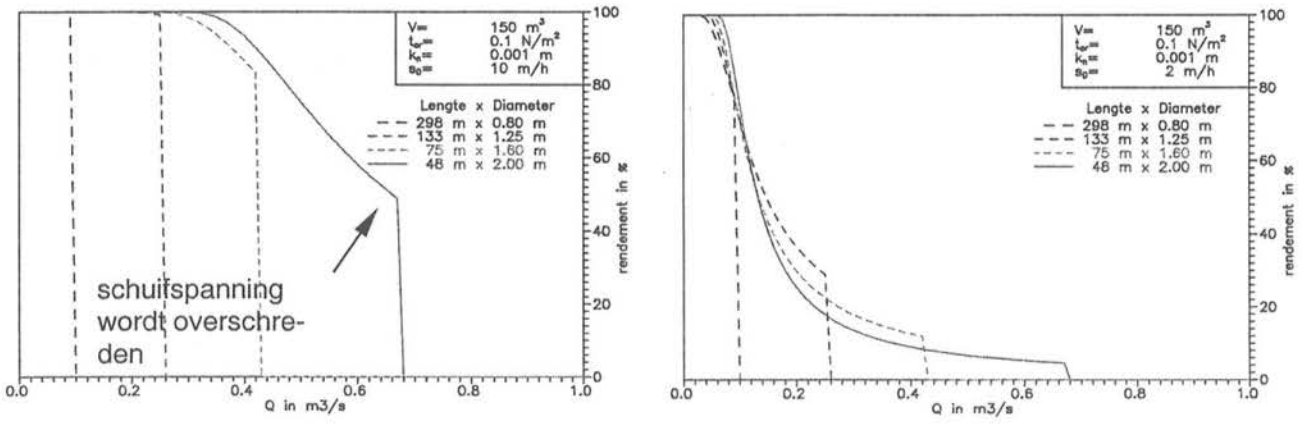
waarin:

ρ	dichtheid (water: 1000 kg/m^3)	kg/m^3
g	zwaartekrachtversnelling	m$^{0.5}$/s
R	hydraulische straal	m
v_0	stroomsnelheid	m/s
i_e	energieverhang	-
C	ruwheidswaarde van Chezy	m^{½}/s

Aan te raden is om de rendementslijnen voor verschillende "deeltjes" te bepalen, met verschillende bezinksnelheden. Normaal is een bezinksnelheid van 10 m/h, additioneel kunnen 5 en 2 m/h gekozen worden.

De berekende rendementscurves worden beïnvloed door de schuifspanning. De bovengrens Q_{max} ontstaat op het moment dat bezonken materiaal opgewoeld wordt, hiervoor wordt een waarde aangehouden van τ_{cr}=0,1 N/m^2.

Vanaf dit punt is het mogelijk verschillende ontwerpen met elkaar te vergelijken door de rendementscurve voor verschillende verhoudingen voor lengte en diameter (bij gelijkblijvend volume) te bepalen. In afbeelding 5.2. is dit gedaan voor een viertal ontwerpen met eenzelfde valsnelheid S_0 voor het standaarddeeltje 10 m/h en voor 2 m/h.



Afbeelding 5.2. Rendementcurves bij verschillende ontwerpen voor standaarddeeltje (10 m/h en 2 m/h)

Wanneer beide grafieken in afbeelding 5.2. met elkaar worden vergeleken dan is het effect van de valsnelheid duidelijk zichtbaar. Gezien dit verschil is het aan te raden de rendementslijnen voor "deeltjes" met verschillende bezinksnelheden te bepalen. Normaal is een bezinksnelheid van 10 m/h, additioneel kunnen 5 en 2 m/h gekozen worden.

De krommen wijken voor kleine debieten nauwelijks van elkaar af. De kortere leidingen met een "grote" diameter presteren bij de kleine debieten beter, terwijl bij grotere debieten de langere leidingen met de kleinere diameters beter presteren (de schuifspanning mag hierbij niet worden overschreden). Dit gedrag komt bij deeltjes met kleine valsnelheden duidelijker naar voren.

Toepassing van kleinere diameters verdient de voorkeur omdat deze leidingen voor deeltjes met kleine valsnelheden beter presteren. Wanneer echter regelmatig de optredende debieten de schuifspanning overschrijden dan is het noodzakelijk een grotere diameter toe te passen.

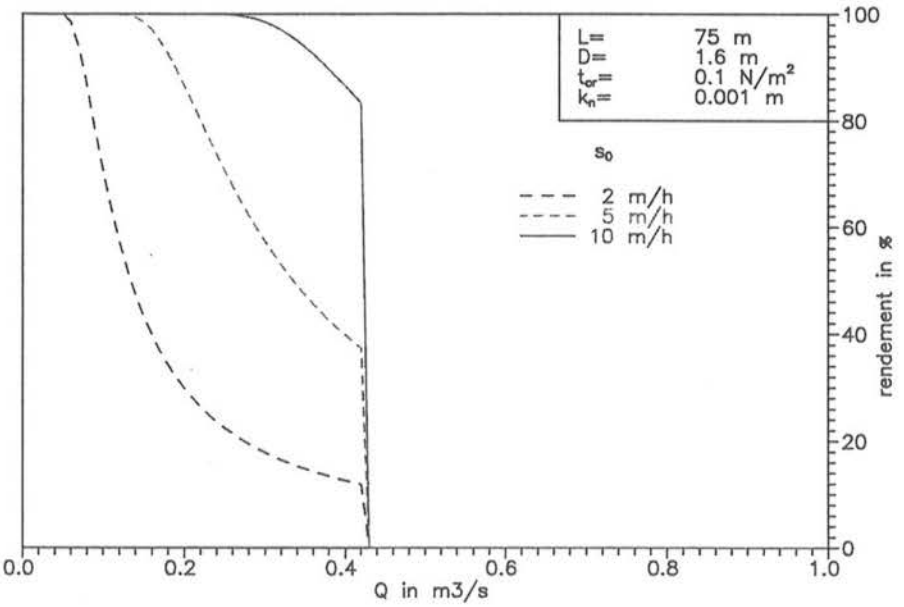
Geconcludeerd mag worden dat de diameter van de BBL zo klein mogelijk moet zijn, waarbij de schuifspanning niet te vaak wordt overschreden. Bij het ontwerp van de leiding speelt natuurlijk ook de toegankelijkheid een rol en moet rekening worden gehouden met de noodzakelijke reiniging van de leiding na afloop van een overstortgebeurtenis (op de eisen die hieraan kunnen worden gesteld wordt in deze studie niet ingegaan).

De voorbeeld BBL komt uit bijlage 3 van de "Handleiding Ontwerp Randvoorzieningen II 1995" van de Noord-Brabantse waterkwaliteitsbeheerders. De BBL heeft een lengte van 75 meter en een diameter van 1,6 meter (volume BBL is 150 m³). De BBL is ontworpen voor een gebied met 7,5 ha verhard oppervlak en een ontwerp regenintensiteit van 50 l/s/ha (0,375 m³/s).

In afbeelding 5.3. is het verloop van het rendement bij drie verschillende standaarddeeltjes weergegeven. Hierbij is steeds hetzelfde ontwerp aangehouden, maar is de bezinksnelheid van de deeltjes gevarieerd.

Bij het ontwerpdebiet (50 l/s/ha) is het bezinkingsrendement voor een standaarddeeltje met een valsnelheid van 10 m/h ongeveer 90 %. Voor deeltjes met een valsnelheid van 5 en 2 m/h zijn de rendementen respectievelijk ongeveer 44 % en 14 %.

Een soortgelijk beeld is naar voren gekomen bij de bepaling van de rendementscurve voor bergbezinkbassins.



Afbeelding 5.3. Bezinkrendement voor 3 standaarddeeltjes

5.5. Berekenen meerjarig bezinkingsrendement

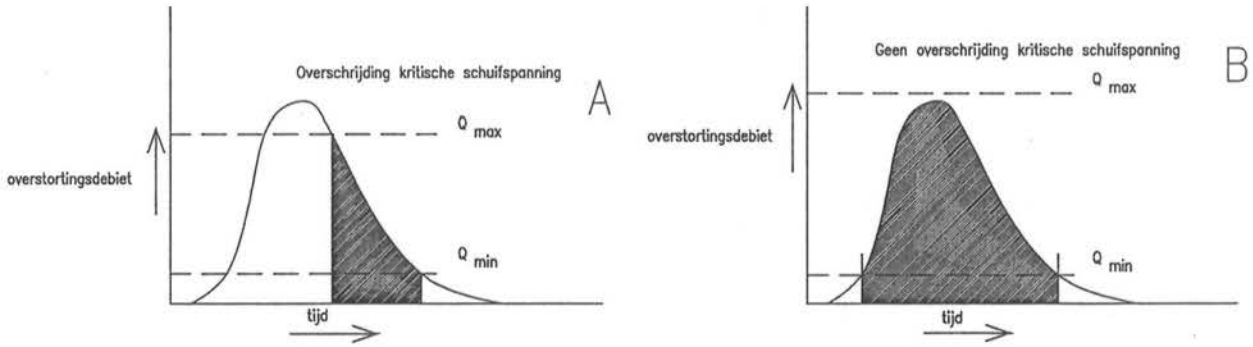
De laatste stap in de bepaling van het rendement een bergbezinkleiding bestaat uit het combineren van de voorgaande stappen. Het rendement van een bergbezinkleiding kan worden berekend op basis van de uitkomsten van een regenreeks met behulp van de volgende formule:

$$\eta_{bez} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_r} \eta(Q(t))dt \qquad (8)$$

met:

η_{bez}	gemiddeld bezinkingsrendement
T_r	lengte regenreeks
T_n	totale overstortduur
$Q(t)$	overstortingsdebiet als functie van de tijd
$\eta(Q(t))$	rendement als functie van het debiet in de tijd

Het rendement wordt in deze formule tijdsafhankelijk gesteld. In de formule staat aangegeven dat voor elk debiet (tijdstap 5 minuten) uit de regenreeks het bijbehorende rendement wordt bepaald uit de curve. De totale som van rendement per tijdstap wordt gedeeld door de totale overstortingsduur. De enige uitzondering ontstaat bij overbelasting van de BBL. Het rendement van een gehele overstorting tot dan toe wordt nul op het moment dat τ_{cr} (bij Q_{max}) wordt overschreden. Er wordt verondersteld dat al het bezonken materiaal instantaan opwoelt. Het rendement van voorgaande overstortgebeurtenissen blijft uiteraard wel bestaan. In afbeelding 5.4. is dit grafisch weergegeven.



Afbeelding 5.4. Verloop rendement over een overstorting

Het meerjarig bezinkingsrendement voor bergbezinkleidingen is groter dan voor bergbezinkbassins. Dit wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door het rendement bij kleine debieten. Bij bergbezinkbassins spelen deze kleine debieten een belangrijke rol met betrekking tot de stabiliteit van de stroming in het bassin en de daarbij optredende rendementen. Een bassin waarbij deze instabiliteit regelmatig optreedt zal bij de berekening van het meerjarig bezinkingsrendement relatief slecht scoren. Omdat bergbezinkleidingen bij kleine debieten juist een zeer hoog "theoretisch" rendement hebben (100 %), blijkt het meerjarig bezinkingsrendement ook zeer hoog te zijn (zeker voor deeltjes met een hoge valsnelheid).

5.6. Resultaten

In tabel 5.1. is het resultaat opgenomen van de uitgevoerde berekeningen. Deze weergave sluit aan bij SUF-HYD Resultaten, maar dan toegesneden op het rendement van de leiding.

5.7. Criteria

Op basis van tabel 5.1. kan worden gecontroleerd of wordt voldaan aan de gestelde eisen:

- het meerjarig bezinkingsrendement moet minimaal 50 % bedragen bij toepassing van een 10-jarige regenreeks in combinatie met toepassing van een standaard deeltje met bezinksnelheid van 10 m/h;
- alle overstortingsgebeurtenissen met een volume groter dan horend bij 1 keer per jaar, moeten een bezinkingsrendement hebben van minimaal 20 %;
- de optredende schuifspanning mag slechts gedurende 1 maal per 2 jaar gedurende een periode van 15 minuten een waarde van 0,1 N/m^2 overschrijden (Van Mameren 1996).

Aan eis 1 wordt voldaan omdat het gemiddeld bezinkingsrendement bijna 93 % bedraagt. Wanneer de lijst naar grootte van het overstortingsvolume wordt gesorteerd blijkt het bezinkingsrendement bij de grote overstorten ruim boven de 20 % te liggen. Hiermee wordt voldaan aan de 2^e eis. Ook aan de 3^e eis wordt voldaan omdat de schuifspanning slechts 4 maal in 10 jaar wordt overschreden.

Bij bergbezinkbassins zijn de eerste twee criteria meestal maatgevend, overschrijding van de schuifspanning komt niet vaak voor. Omdat de stroomsnelheden in een BBL over het algemeen groter zijn, speelt het laatste criterium, dat betrekking heeft op de kritische schuifspanning, bij bergbezinkleidingen een belangrijke rol. Aan de andere criteria wordt eerder voldaan.

Tabel 5.1. Voorbeeld presentatie resultaten

Regenreeks : de Bilt 15 min. 1955-1964
Data bestand : BBL150.001

Inhoud : 150.0 m³
Lengte leiding : 75.0 m
Diameter leiding : 1.6 m

Effectieve lengte : 59.0 m
Bezinkzone : 118.6 m³

Ruwheid : 0.001 m
Bezinksnelheid : 10.00 m/h
Tau critisch : 0.10 N/m²

Qmax = 0.43 m³/s Tau crit > 0.1

het tijdsgemiddeld rendement bedraagt 93%
het aantal overstortingsgebeurtenissen dat de kritische schuifspanning
Wordt overschreden bedraagt 4 van de 54

jaar	dag	uur	minuten	duur	volume	T-rend	volgnr
55	279	8	5	554	1047	46	1
56	23	4	50	452	874	100	2
60	163	4	20	448	548	74	3
62	16	14	5	557	500	100	4
59	12	19	30	758	458	80	5
64	225	20	15	845	445	78	6
62	137	5	10	654	254	100	7
..	..			..	..	..	
62	191	18	10	60	50	100	48
57	199	7	25	48	46	99	49
59	199	15	0	27	28	100	50
58	299	2	40	20	20	100	51
60	197	5	5	12	12	100	52
61	164	6	50	10	10	100	53
56	159	6	45	10	10	100	54
					12624	93	

Het gemiddelde bezinkingsrendement is hoog doordat bij kleine debieten het bezinkingsrendement zeer hoog is (100 %). Deze hoge waarde hangt samen met een drietal punten. Als eerste wordt ervan uitgegaan dat zich in een bergbezinkleiding geen instabiele stromingen zullen voordoen. Bovendien wordt het meerjarig bezinkingsrendement berekend op basis van een tijdgemiddeld rendement waar-

door het grote aantal tijdstappen met kleine debieten relatief zwaar wegen. Tenslotte wordt uitgegaan van een deeltje met een valsnelheid van 10 meter per uur, dit deeltje zal relatief gemakkelijk bezinken.

Rekening dient te worden gehouden met het feit dat de rendementen worden berekend op basis van een theoretische benadering met een aantal aannamen (zie ook uitgangspunten). Het werkelijk functioneren van een randvoorziening kan alleen worden gecontroleerd op basis van metingen.

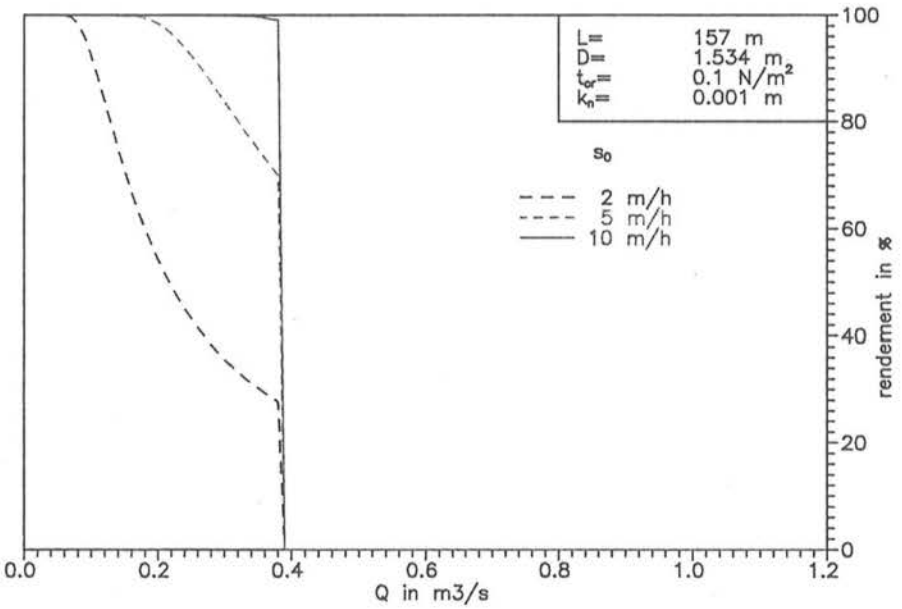
6. TOETSING SYSTEMATIEK BERGBEZINKRIOLEN

In dit hoofdstuk wordt de in hoofdstuk 5 beschreven systematiek voor de rendementscontrole voor een tweetal bergbezinkriolen toegepast. Als eerste zal een BBL in Middelburg worden getoetst en vervolgens een bergbezinkleiding in Tholen.

6.1. Middelburg

In Middelburg is een bergbezinkleiding aangelegd langs de Veersesingel. In 1999 is het volledige rioolstelsel van Middelburg doorgerekend met een 10 jarige regenreeks. De resultaten van deze reeks zijn gebruikt om het ontwerp van de bergbezinkleiding te beoordelen.

De bergbezinkleiding langs de Veersesingel heeft een inhoud van ± 300 m³. De bergbezinkleiding heeft een lengte van 157 m en een interne diameter van 1534 mm. De leiding vormt de randvoorziening voor een bemalingsgebied met twee overstorten. Het verhard oppervlak van het bemalingsgebied is ongeveer 11,8 ha. De berging in het rioolstelsel is ongeveer 7,4 mm, de berging in de bergbezinkleiding is ongeveer 2,5 mm.



Afbeelding 6.1. Bezinkrendement bbl Veerseweg voor 3 standaard-deeltjes

Op basis van deze gegevens en de in hoofdstuk 5 omschreven methodiek kan de debiet-rendementscurve in afbeelding 6.1. worden berekend.

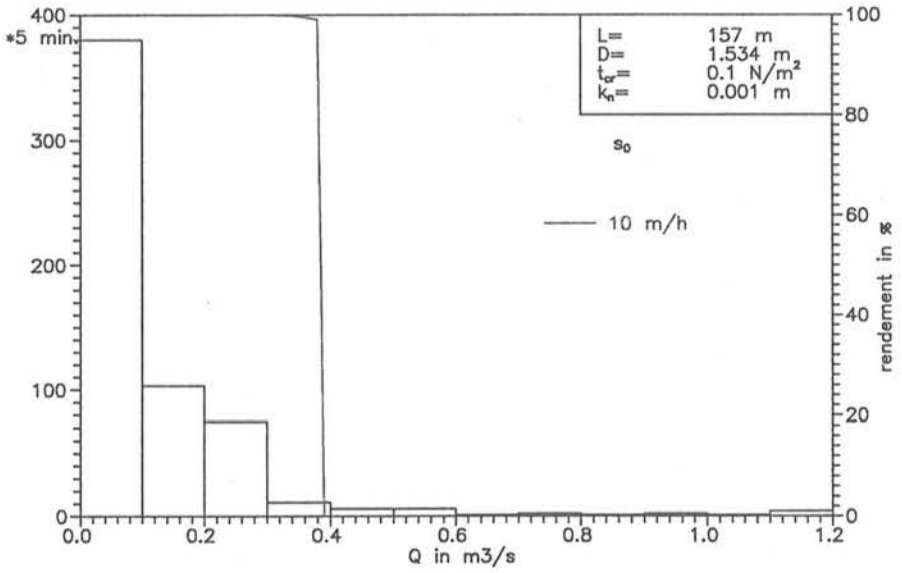
Hierbij is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:
- kritische schuifspanning is 0,1 N/m²;
- valsnelheid standaarddeeltje is 10 m/h;
- ruwheid van de leiding is 1 mm.

Het meerjarig-bezinkingsrendement kan worden berekend door de debiet-rendementscurve te combineren met de uit de regenreeksberekening afkomstige overstortende debieten per 5 minuten voor de betreffende overstort. De overstortende debieten worden berekend uit de SUF-HYD bestanden waarin het overstortend volume per 5 minuten is opgenomen.

Het blijkt dat het bezinkingsrendement van de bergbezinkleiding voor deeltjes met een valsnelheid van 10 m/uur 94 % bedraagt. Dit rendement wordt berekend door het rendement van iedere 5 minuten tijdstap op te tellen en te delen door het totaal aantal 5 minuten tijdstappen. Voor deeltjes met een valsnelheid van 5 en 2 m/uur is het rendement respectievelijk 93 % en 83 %.

Bij 5 van de 30 overstorten die in 10 jaar plaatsvinden wordt de schuifspanning gedurende meer dan 15 minuten overschreden. Dit komt overeen met een herhalingstijd van ongeveer 1 keer per twee jaar. Hiermee wordt voldaan aan de norm.

Uit de histogram in afbeelding 6.2. valt af te lezen dat het grootste deel van de optredende debieten onder grens van de kritieke schuifspanning liggen.



Afbeelding 6.2. Debietverdeling en rendementscurve bbl Veerseweg

controle criteria

Wanneer wordt onderzocht of de bergbezinkleiding voldoet aan de in hoofdstuk 3 beschreven criteria dan blijkt dat wordt voldaan aan de eerste eis dat het meerjarig gemiddeld bezinkingsrendement ten minste 50 % bedraagt.

Aan de tweede eis, die betrekking heeft op het een minimaal rendement van 20 % bij grote overstortgebeurtenissen wordt ook voldaan (tabel 6.1.). De bezinkingsrendementen zijn soms relatief laag doordat in deze gevallen ook de kritische schuifspanning wordt overschreden.

De derde eis stelt dat slechts 1 maal per 2 jaar de schuifspanning mag worden overschreden. Bij het betreffende bergbezinkbassin gebeurt dit 5 keer in de 10 jarige reeks, hetgeen overeenkomt met de eis.

Tabel 6.1. Resultaten rendementsberekening BBL Veerseweg

Regenreeks : de Bilt 15 min. 1955-1964
Data bestand : BBLveers.001

Inhoud : 300.0 m³
Lengte leiding : 157.0 m
Diameter leiding : 1.534 m

Effectieve lengte : 141.7 m
Bezinkzone : 261.9 m³

Ruwheid : 0.001 m
Bezinksnelheid : 10.00 m/h
Tau critisch : 0.10 N/m²

Qmax = 0.389 m3/s Tau crit > 0.1

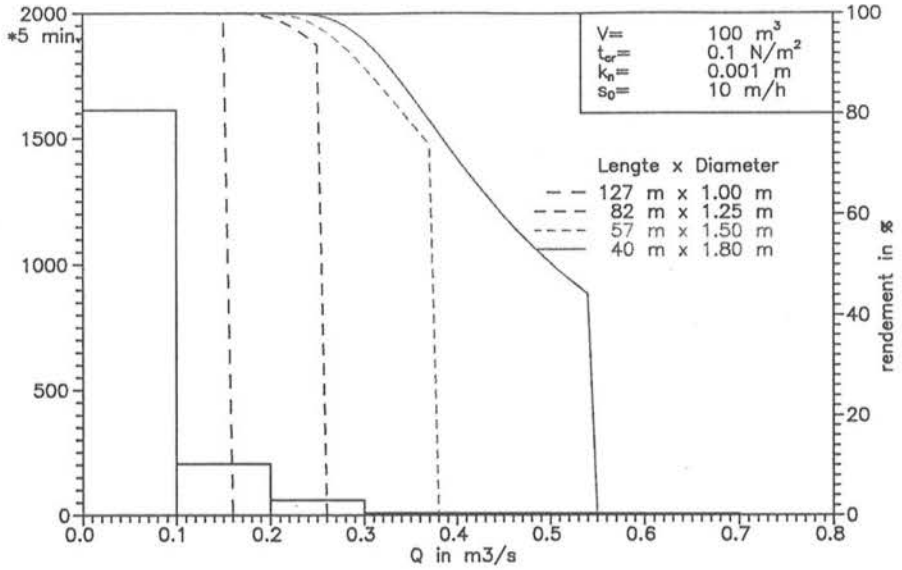
het tijdsgemiddeld rendement bedraagt 94%
het aantal overstortingsgebeurtenissen dat de kritische schuifspanning wordt overschreden bedraagt 5 van de 30

jaar	dag	uur	minuten	duur	volume	T-rend	volgnr
77	158	1	5	21	3262	43	1
76	286	2	40	83	2727	100	2
80	232	6	45	30	1386	100	3
72	238	7	40	30	1228	100	4
76	339	8	40	60	1087	100	5
78	207	17	10	10	909	40	6
78	275	22	0	10	709	50	7
80	250	5	35	38	704	100	8
79	216	9	0	8	655	50	9
71	199	12	30	14	631	100	10
74	231	17	50	8	475	63	11
79	232	16	0	20	469	100	12
75	106	23	25	12	456	100	13
73	265	16	40	9	424	100	14
76	176	21	20	7	392	86	15
77	194	22	5	31	390	100	16
74	267	4	5	14	300	100	17
72	191	19	25	13	256	100	18
74	223	23	55	11	210	100	19
79	194	16	35	8	183	100	20
72	199	19	5	8	162	100	21
77	335	23	15	15	136	100	22
79	311	20	5	11	125	100	23
77	298	0	0	11	96	100	24
78	299	19	30	11	77	100	25
77	30	8	35	8	68	100	26
80	203	23	5	5	59	100	27
77	339	2	25	4	28	100	28
73	188	0	40	3	10	100	29
77	290	19	5	1	3	0	30
					17617	94	

6.2. Tholen

In de gemeente Tholen zijn in de kern St. Annaland een tweetal bergbezinkleidingen voorgesteld. Voor één van de leidingen is een toetsing uitgevoerd, het betreft de leiding aan de Hoenderweg in St. Annaland. De reeksberekeningen zijn uitgevoerd met een 10 jarige regenreeks. De resultaten van deze reeks zijn gebruikt om een ontwerp van de bergbezinkleiding te maken. Met behulp van de reeksberekening is de bergende inhoud van de bergbezinkleiding bepaald op 100 m³.

Op basis van deze gegevens en de in hoofdstuk 5 omschreven methodiek kunnen voor verschillende ontwerpen een debiet-rendementscurve worden berekend.



Afbeelding 6.3. Debietverdeling en rendementscurve bbl Hoenderweg

Hierbij is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:
- kritische schuifspanning is 0,1 N/m²;
- valsnelheid standaarddeeltje is 10 m/h;
- ruwheid van de leiding is 0.001 m.

Het meerjarigbezinkingsrendement kan worden berekend door de debiet-rendementscurve te combineren met de uit de regenreeksberekening afkomstige overstortende debieten per 5 minuten voor de betreffende overstort. De overstortende debieten worden berekend uit de SUF-HYD bestanden waarin het overstortend volume per 5 minuten is opgenomen.

Het blijkt dat het bezinkingsrendement van de bergbezinkleiding sterk wordt beïnvloed door het aantal maal dat de schuifspanning wordt overschreden. De schuifspanning mag maximaal één maal in de twee jaar optreden, dit komt overeen met 5 keer gedurende een 10 jarige reeks. Bij een diameter van 1.5 meter of groter wordt aan deze eis voldaan (tabel 6.2.). Het rendement bedraagt bij deze diameter 95 %. Dit rendement wordt berekend door het rendement van iedere 5 minuten tijdstap op te tellen en te delen door het totaal aantal 5 minuten tijdstappen.

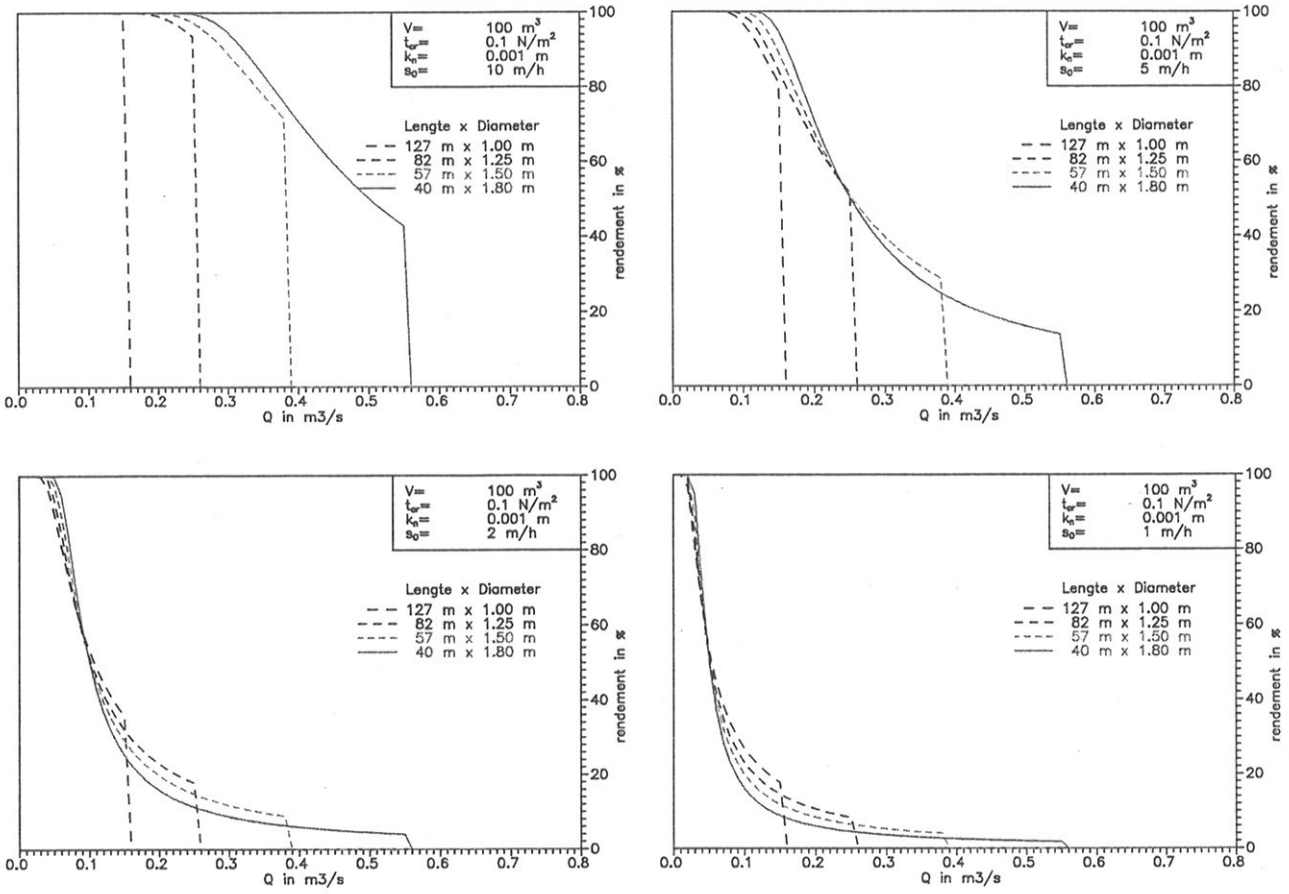
Bij 4 van de 53 overstorten die in 10 jaar plaatsvinden wordt de schuifspanning gedurende meer dan 15 minuten overschreden. Dit komt overeen met een herhalingstijd van ongeveer één maal per twee jaar. Hiermee wordt voldaan aan de norm.

Uit de histogram in afbeelding 6.3. valt af te lezen dat het grootste deel van de optredende debieten onder grens van de kritieke schuifspanning liggen.

Tabel 6.2. Rendement verschillende ontwerpen bij verschillende valsnelheden voor bergbezinkleiding Hoenderweg

diameter / Lengte (m)	rendement (%) 10 m/h	rendement (%) 5 m/h	rendement (%) 2 m/h	aantal overstortingen (in 10 jaar)	aantal maal overschrijding van schuifspanning (in 10 jaar)
1.0 / 127	77	77	68	53	21
1.25 / 82	94	92	80	53	11
1.5 / 57	98	96	82	53	4
1.8 / 40	99	96	82	53	1

Voor een beter inzicht in het effect van verschillende valsnelheden op de rendementscurves is afbeelding 6.4. opgenomen. Uit deze afbeeldingen blijkt dat leidingen met een kleine diameter de voorkeur verdienen wanneer deeltjes met kleine valsnelheden moeten worden afgevangen.



Afbeelding 6.4. Rendementscurven bbl Hoenderweg voor verschillende varianten en valsnelheden

controle criteria

Beide ontwerpen met een diameter groter dan 1,5 meter voldoen aan de eerste eis, waarbij het meerjarig gemiddeld bezinkingsrendement ten minste 50 % moet bedragen. Ook aan de tweede eis, die betrekking heeft op een minimaal rendement van 20 % bij grote overstortgebeurtenissen, wordt voldaan (tabel 6.3.). De bezinkingsrendementen zijn soms relatief laag doordat in deze gevallen ook de kritische schuifspanning wordt overschreden. De derde eis stelt dat slechts 1 maal per 2 jaar de schuifspanning mag worden overschreden. Bij de twee leidingen met een diameter groter dan 1,5 meter wordt de schuifspanning respectievelijk 4 en 1 keer overschreden, hiermee wordt voldaan aan de eis.

Het verschil in rendement tussen de twee leidingen met de grootste diameters is zeer gering. Op basis van deze berekeningsresultaten kunnen beide leidingen worden gekozen.

Tabel 6.3. Resultaten rendementsberekening BBL Hoenderweg

Regenreeks : de Bilt 15 min. 1955-1964
Data bestand : BBLhoenw.001

Inhoud : 100.0 m³
Lengte leiding : 57.0 m
Diameter leiding : 1.5 m

Effectieve lengte : 42.0 m
Bezinkzone : 74.2 m³

Ruwheid : 0.001 m
Bezinksnelheid : 10.00 m/h
Tau critisch : 0.10 N/m²

Qmax = 0.371 m3/s Tau crit > 0.1

het tijdsgemiddeld rendement bedraagt 98%
het aantal overstortingsgebeurtenissen dat de kritische schuifspanning wordt overschreden bedraagt 4 van de 53

jaar	dag	uur	minuten	duur	volume	T-rend	volgnr
60	286	0	15	211	4761	100	1
60	338	21	5	159	2740	100	2
61	157	21	55	40	2487	67	3
64	232	4	30	47	1649	99	4
61	335	15	15	92	1545	100	5
56	238	5	30	34	1281	99	6
64	250	3	20	42	951	100	7
62	207	15	0	12	818	58	8
64	297	3	55	72	763	100	9
61	331	8	25	80	753	100	10
63	232	13	50	37	708	100	11
55	199	10	15	16	674	97	12
57	254	8	10	47	674	100	13
55	279	17	20	40	656	100	14
61	194	16	55	41	628	100	15
62	275	19	50	10	623	69	16
58	267	1	35	25	599	100	17
62	299	15	50	35	594	100	18
63	311	16	55	36	586	100	19
61	297	21	30	43	558	100	20
61	338	23	45	21	558	100	21
61	290	14	25	35	550	100	22
61	30	5	20	28	535	100	23
59	106	21	10	14	527	99	24
57	265	14	30	23	516	99	25
60	190	22	20	53	515	100	26
58	231	15	35	10	470	88	27
63	216	6	50	10	465	70	28
56	191	16	50	20	451	100	29
55	16	20	15	29	404	100	30
58	223	21	40	12	320	100	31
61	59	2	20	36	283	100	32
60	176	19	10	8	278	99	33
56	23	12	5	38	224	100	35
63	194	14	25	9	209	100	35
58	136	17	50	22	193	100	36
64	154	14	50	11	191	100	37
56	198	16	55	9	186	100	38
55	137	17	50	12	128	100	39
61	233	19	30	6	103	100	40
60	233	8	40	9	97	100	41
60	99	3	45	6	95	100	42
64	203	20	55	6	88	100	43
64	290	13	40	6	73	100	44
64	153	0	15	6	72	100	45
59	300	13	30	9	68	100	46
61	272	5	45	6	61	100	47
61	346	8	10	7	56	100	48
64	170	21	5	6	55	100	49
60	137	6	40	5	53	100	50
56	279	17	50	5	50	100	51
57	187	22	35	4	36	100	52
57	197	12	55	2	8	100	53
					31966	95	

LITERATUURLIJST

- Clemens, F.H.L.R., 1986, Sediment in een rioolleiding, afstudeerscriptie Technische Hogeschool Delft, afdeling der Civiele Techniek.
- Kluck, J., 1997, Het ontwerp van optimaal functionerende bergbezinkbassins. Stowa 97-19, ISBN 90.74476.83.X, Hageman Verpakkers BV.
- Mameren, H.J. van, 4 december 1996, Toetsing criteria beleidsnotitie randvoorzieningen, WRW.
- Mameren, H.J. van, The design of storage sedimentation tanks using rain series calculations, including sedimentation efficiencies, Proceedings volume 2, 8th International Conference on Urban Storm Drainage, 30 August - 3 September 1999, Sydney, Australië, ISBN 0 85825 718 1.
- Noord-Brabantse waterkwaliteitsbeheerders, november 1995, Handleiding Ontwerp Randvoorzieningen II 1995.
- Stichting Rioned, Leidraad Riolering, Module C2100.