

Handleiding Wegenbouw
Ontwerp Hemelwaterafvoer

2e ed.

6.0-325..

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

dienst weg- en waterbouwkunde

BIBLIOTHEEK

Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT

juni 1988

015-2510363

Prijs: f 75,-
NIET MEER VERBAAR!

informatie hierover: J. Doorduyn

Handleiding Wegenbouw

Ontwerp Hemelwaterafvoer

500-6-88/BB

ISBN (Reeks): 90 369 0051 4

ISBN (Deel 2): 90 369 0071 9

van der Burghweg 1, Postbus 5044, 2600 GA Delft

Inhoud

Voorwoord		0- 1
1	Uitgangspunten	1- 1
2	Neerslag	2- 1
2.1	Regenwater	2- 1
2.1.1	Berekeningsintensiteit	2- 1
2.1.2	Afvoercapaciteit van het afvoerstelsel	2- 3
2.1.3	Berging in het afvoerstelsel	2- 4
2.2	Smeltwater	2- 5
2.3	Samenstelling van hemelwater	2- 5
3	Afstroming	3- 1
3.1	Verharde en onverharde oppervlakken	3- 1
3.2	Afvloeiingscoëfficiënt	3- 1
3.3	Vertraging in het afvoerstelsel	3- 2
3.4	Lekwater	3- 3
4	Ontwerp afvoerstelsels	4- 1
4.1	Voorwaarden	4- 1
4.2	Systemen, keuze en plaatsbepaling	4- 2
4.3	Kolken	4- 3
4.4	Riolen, rioolputten, afvoerleidingen	4- 4
4.5	Bermsloot c.a. en berging	4- 5
4.6	Zuiveringstechnische werken	4- 6
4.7	Rioolgemaal en persleiding	4- 6
5	Hydraulische berekening	5- 1
5.1	Kolkafstanden	5- 1
5.2	Rioolbuizen	5- 1
5.3	Waterlopen	5- 2
5.3.1	Ongelimiteerde afvoer	5- 3
5.3.2	Gelimiteerde afvoer-berging	5- 4
5.4	Duikers	5- 4
5.5	Persleidingen	5- 5
6	Keuze bouwstoffen	6- 1
6.1	Goten	6- 1
6.2	Kolken en aansluitleidingen	6- 6
6.3	Rioolbuizen	6- 7
6.3.1	Betonbuizen	6- 7
6.3.2	PVC-buizen	6- 8
6.3.3	PE-HD buizen	6- 9
6.4	Rioolputten – Putafdekkingen	6-10
6.5	Persleidingbuizen	6-11

7	Sterkteberekening buizen	7- 1
7.1	Algemeen	7- 1
7.2	Buizen van beton	7- 2
7.3	Buizen van PVC	7- 3
7.4	Buizen van PE-HD	7- 3
8	Aanleg afvoerstelsels	8- 1
8.1	Nederlandse Praktijk Richtlijn 3218	8- 1
8.2	Fundering van leidingen	8- 1
8.3	Grondwerk	8- 1
8.4	Opvangen van bochtkrachten	8- 1
8.5	Controle	8- 2
8.6	Doorvoeringen door mantelbuizen	8- 3
8.7	Kolken en aansluitleidingen	8- 3
9	Revisie	9- 1
10	Beheer - inspectie, onderhoud en herstel	10- 1
11	Bijzondere onderwerpen	11- 1
11.1	Duikers	11- 1
11.2	Aansluiting aardebaan op kunstwerken	11- 2
11.3	Aansluiten van drainage	11- 4
11.4	Brandstofverkooppunten en verzorgingsplaatsen	11- 4
11.5	Waterwingebieden	11- 6
11.6	Geluidbeperkende constructies	11- 6
11.7	Drainerende verhardingen	11- 6
	Bijlagen	
A	Literatuuroverzicht	A- 1
B	Formules voor de dimensionering van open en gesloten leidingen.	B- 1
B.1	Goten en kolkafstanden	B- 1
B.2	Geheel gevulde buizen	B- 2
B.3	Gedeeltelijk gevulde buizen	B-12
B.4	Waterlopen	B-14
C	Rekenvoorbeelden.	C- 1
C.1	Berekening kolkafstand	C- 1
C.2	Berekening kolkaansluitleiding	C- 1
C.3	Berekening riolen	C- 1
C.4	Berekening waterloop	C- 5
C.4.1	Ongelimiteerde afvoer	C- 5
C.4.2	Gelimiteerde afvoer	C- 6
C.5	Berekening duikers	C-10
D	Titels van de te raadplegen normen en overige publicaties	D- 1

Voorwoord

In het kader van het wegontwerp zijn er binnen de Rijkswaterstaat richtlijnen voor het ontwerpen van (niet-) autosnelwegen (ROA en RONA) opgesteld. Ontwerp en aanleg van de hemelwaterafvoer zijn, op een enkele passage na, tot dusver buiten beschouwing gebleven.

Door het ontbreken van richtlijnen is een sterke variatie in oplossingen ontstaan met betrekking tot de afvoer van hemelwater en worden niet altijd de laatste inzichten op dit gebied gevolgd.

In verband hiermede is besloten ook voor hemelwaterafvoerstelsels een handleiding samen te stellen, waarmee ontwerpers en overige betrokkenen in staat zijn vragen ten aanzien van de afstroming, opvang, transport en lozing van het hemelwater op optimale wijze te beantwoorden.

Deze handleiding geeft aanwijzingen inzake ontwerpcriteria, aanleg, onderhoud en beheer van hemelwaterafvoerstelsels. De handleiding is aangevuld met mager gedrukte toelichtingen.

De handleiding is zowel bestemd voor de ontwerper als voor degene die is belast met de uitvoering of het toezicht; voor de aanleg en het onderhoud dient de handleiding te worden gebruikt in combinatie met NPR 3218 (Nederlandse Praktijk Richtlijn "Buitenriolering onder vrijval - aanleg en onderhoud").

Voor het opstellen van de handleiding is opdracht gegeven door de Hoofdingenieur-Directeur van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van de Rijkswaterstaat te Delft.

Het verrichten van het voor de handleiding benodigde literatuuronderzoek en het doen van tekstvoorstellen is opgedragen aan het Adviesbureau Bongaerts, Kuyper en Huiswaard te 's-Gravenhage. De opdracht is uitgevoerd door de medewerkers van dit bureau ing. L.A.W. Ammerlaan en ing. P.W. van der Linden.

De werkzaamheden van het bureau zijn ondersteund door een begeleidingscommissie van de Rijkswaterstaat bestaande uit P. Riemens (voorzitter), ing. J. Doorduijn en ing. A.A. Elenbaas (Dienst Weg- en Waterbouwkunde), Ch. Gobind en ing. E. van der Hout (Directie Zuid-Holland), ing. J.K. Jongeleen (Directie Bruggen), ing. W. Poldner (Directie Noord-Holland) en ing. B.O.A. Weijgertze (Directie Limburg).

1 Uitgangspunten

- belang** Een goede en veilige verkeersafwikkeling op een auto(snel)weg wordt mede bepaald door de voorzieningen die zijn getroffen voor een snelle afvoer van het op de verharding gevallen hemelwater.
- doel** De handleiding heeft tot doel de ontwerper in staat te stellen de vragen ten aanzien van de problematiek van de intensiteit van de neerslag, de afstroming over het wegoppervlak c.q. berm, de opvang, het transport en de lozing van het hemelwater te kunnen beantwoorden en de onderdelen van de stelsels te kunnen berekenen.
De handleiding heeft tevens tot doel onderhoudsbewust te ontwerpen, de uniformiteit te bevorderen en informatie te verstrekken.
- bijstellen** Het is gewenst de handleiding aan de praktijk te toetsen en zowel de positieve als negatieve ervaringen aan de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat te Delft te melden, zodat deze de handleiding zo nodig periodiek kan bijstellen.
- natuurlijke afvoer** Waar mogelijk wordt de afwatering van de wegen gerealiseerd door rechtstreekse zijdelingse afvloeiing van het hemelwater over de bermen naar de bermsloten. Voor de afwatering van de autosnelwegen is een minimum dwarshelling van 2½% gewenst, omdat vooral bij onregelmatigheden in het dwars- of lengteprofiel de kans op plasvorming dan geringer is.
Voor niet-autosnelwegen wordt veelal een dwarshelling van minimaal 2% aangehouden.
Daarnaast dient aandacht te worden geschonken aan maatregelen ter bestrijding van erosie van de wegberm, zoals bijv. inzaaien met hydrociden, verwerken van graszoden en wiepen, het aanbrengen van grasstenen en het afsputten van bermen.
Het al dan niet aanbrengen van een rioelstelsel dient gebaseerd te zijn op een wegbouwkundige of milieukundige noodzaak.
- wegbouwkundige noodzaak** Goten, kolken en riolen (inclusief putten) met afvoer naar bermsloten e.d. zijn noodzakelijk wanneer de afvoer zich concentreert of wordt belemmerd, zoals:
- a. bij afstroming in de langsrichting van de weg;
 - het kan bijv. noodzakelijk zijn bij
 - een weg met een langshelling steiler dan 1%;
 - een weg met een verhardingsbreedte van meer dan 11 m, indien de langshelling steiler is dan 0,5%;
 - aansluiting op kunstwerken.
 - b. wanneer geen zijdelingse afstroming mogelijk is;
 - bijv. bij
 - een gebogen horizontaal alignement, waarbij het water als gevolg van de tegenverkanting zich in de middenberm zal verzamelen;
 - een weg in ingraving wanneer een natuurlijke afvoer niet mogelijk is;
 - een weg met obstakels langs de verharding, b.v. trottoirbanden, verhoogde berm, geluidwerende constructies, bebouwing e.d.
 - c. wanneer er gevaar voor uitspoeling bestaat.
 - bijv. bij
 - taluds;
 - grote rijbaanbreedten.
- milieukundige noodzaak** Naast de wegbouwkundige noodzaak kan de aanleg van goten, kolken en riolen (waar nodig een gescheiden stelsel) ook noodzakelijk zijn uit oogpunt van milieubelangen om bodem- en grondwaterverontreinigingen (bijv. bij brandstofverkooppunten) te voorkomen en kunnen belangen van derden een rol spelen, zoals bijv. in waterwingebieden, tuinbouwgebieden enz.

- aansluiting op stelsels beheerders** Met betrekking tot de afwatering van de weg dient altijd contact te worden opgenomen met de waterkwaliteit- en de waterkwantiteitbeheerders in het betreffende gebied, zodat het ontwerp mede kan worden afgestemd op de waterkwaliteit- en ontwateringsplannen. Daar waar het afvoerstelsel wordt aangesloten op een gemeentelijk rioolstelsel, of hierin is opgenomen, moet het ontwerp in overleg met de gemeente worden gemaakt.
- hoofdstukindeling** De hoofdstukindeling is zodanig gekozen dat het proces vanaf het ontwerp tot en met het beheer wordt behandeld.
De hoofdtekst onderscheidt zich hierbij van de achtergrond-informatie door een vetter lettertype. Hoofdstuk 2 handelt over de keuze van de te hanteren berekeningsintensiteit en neerslaghoeveelheid.
Hoofdstuk 3 geeft aan welke delen van het gebied en in welke mate deze afstromen via het te ontwerpen afvoerstelsel.
Hoofdstuk 4 behandelt het ontwerp van het stelsel qua situatie en vormgeving.
Hoofdstuk 5 gaat over de hydraulische berekening en het met behulp hiervan vaststellen van de plaats van de kolken en de afmetingen van de overige onderdelen.
De hoofdstukken 6 en 7 betreffen de keuze van de bouwstoffen en de bepaling van de benodigde sterkte van de buizen.
De hoofdstukken 8 en 9 geven in aansluiting op NPR 3218 richtlijnen ten aanzien van de aanleg en de revisie.
Hoofdstuk 10 behandelt het beheer van het in bedrijf zijnde afvoerstelsel.
Hoofdstuk 11 beschrijft tenslotte in het kort een aantal bijzondere onderwerpen, die in bepaalde gevallen aan de orde komen bij het ontwerpen van het afvoerstelsel.
- NPR 3218** Voor de aanleg en het onderhoud moet, aanvullend op deze handleiding, de Nederlandse praktijkrichtlijn "Buitenriolering onder vrij verval – aanleg en onderhoud" (NPR 3218) als grondslag worden gehanteerd.
- begrippen** De aard van het af te voeren water dient als volgt te worden aangegeven:
– hemelwater: regen- en smeltwater;
– vuilwater: huishoud- en bedrijfswater;
– afvalwater: hemel-, huishoud- en bedrijfswater (gemengd stelsel).
- specifieke situaties** In specifieke gevallen waarin de handleiding niet voorziet kan contact worden opgenomen met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat te Delft.
- literatuur** In bijlage A is een overzicht opgenomen van de van belang zijnde literatuur.
- behandeling vuilwater** In deze handleiding zijn de navolgende onderwerpen buiten beschouwing gebleven:
– behandeling van vuilwater
Inrichtingen voor het behandelen van vuilwater dienen, indien voorkomend, per object te worden afgestemd op de situatie en mogelijkheden ter plaatse en op de verontreinigende stoffen in het te transporteren water;
- rioleringssysteem onder over- en onderdruk** – rioleringssysteem onder over- en onderdruk
Deze systemen worden toegepast voor gebieden met verspreide bebouwing, bij randgebieden van een rioolstelsel en op plaatsen waar de aanleg van een riolering onder vrijval problemen oplevert (in verband met flora, werkruimte, het voorkomen van bronbemalingseffecten e.d.).
Voor ontwerpcriteria, aanleg en onderhoud van buitenriolering onder over- en onderdruk wordt verwezen naar de Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 3221.
- drainage** – drainage
Veelal wordt in het ontwerp van de weg, ter beheersing van het waterpeil onder de weg, een praktische drainage opgenomen. In bijzondere gevallen vindt tevoren een geohydrologisch onderzoek plaats, waaruit de benodigde drainage en eventuele bemaling volgt.

2 Neerslag

Onder neerslag wordt begrepen al het hemelwater (regen- en smeltwater) dat op de wegen, berm en eventueel aangrenzende terreinen valt. Voor het ontwerpen van het afvoerstelsel is het van belang te weten met welke regenbui met betrekking tot duur en intensiteit dient te worden gerekend.

In Nederland en elders worden continu regenwaarnemingen verricht m.b.t. tijdsduur, intensiteit en totale hoeveelheid neerslag per bui en weergegeven in tabellen en grafieken. Bij het KNMI kan desgewenst worden geïnformeerd naar plaatselijke bijzonderheden ten aanzien van de neerslag.

plaatselijke verschillen in neerslag

Uit de bestudering door Buishand en Velds (KNMI) van het waarnemingsmateriaal is gebleken dat plaatselijke verschillen bij extreme intensiteiten voor korte duren (5 minuten tot 48 uren) moeilijk zijn vast te stellen of bij zelfregistrerende apparatuur uit de pluviograafstroken zijn af te leiden.

Als gevolg van heuvels en bergen kan de neerslagvorming worden bevorderd, het zgn. orografisch effect, welk effect behalve van hoogte van heuvels en bergen ook afhangt van de windrichting. Uit een vergelijking van de frequentieverdelingen blijkt er een tendens te zijn dat bij korte duren de plaatselijke verschillen kleiner worden. Bij een duur van 2 uur komen de waarden elders in Nederland overeen met die in De Bilt.

Voor de extremen van langere duren (1 tot 10 dagen) kan men stellen dat op plaatsen waar veel neerslag valt ook de extremen hoog zijn.

Voor de berekening van het afvoerstelsel zijn de intensiteiten van korte duren bepalend, zodat de geografische ligging niet van belang is voor het bepalen van de berekeningsintensiteit. Voor Nederland kunnen dezelfde rekenwaarden worden gehanteerd.

2.1 Regenwater

2.1.1 Berekeningsintensiteit

Bij het ontwerpen van een afvoerstelsel gelden er twee criteria:

keuze berekeningsintensiteit

- De neerslag met een bepaalde intensiteit voor de berekening van de afvoercapaciteit van het afvoerstelsel.

Voor deze berekening drukt men gewoonlijk de regenwaterintensiteit uit in l/s.ha en niet in mm/s of mm/min. (1 l/s.ha = 0,006 mm/min en 1 mm/min. = 167 l/s.ha);

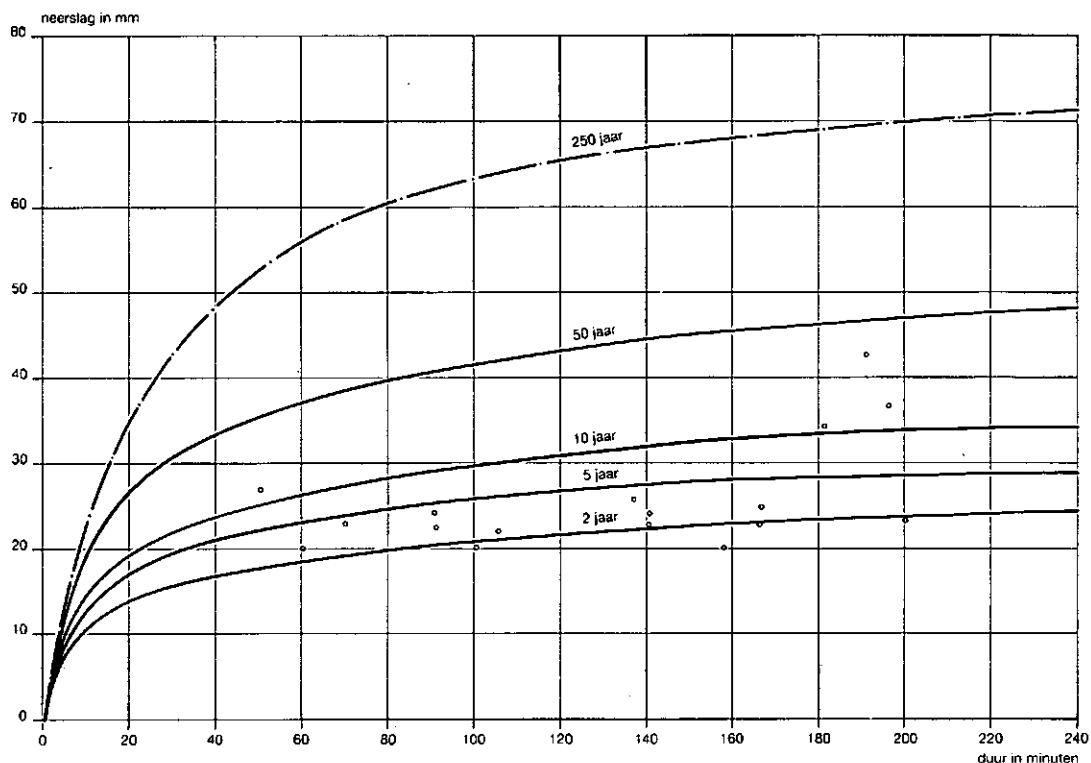
keuze neerslaghoeveelheid

- De neerslaghoeveelheid (uitgedrukt in mm) per tijdseenheid, die gemiddeld eens per T-jaar wordt overschreden, voor de berekening van het benodigd bergend vermogen van het afvoerstelsel. Deze berekening is nodig indien een natuurlijke afvoer ontbreekt of door derden een beperking wordt gesteld aan de afvoer op een nabijgelegen watergang.

Voor het vaststellen van de herhalingsduur T wordt uitgegaan van de regenkrommen van Braak (zie figuur 1 en 2).

duur	in minuten				in uren								in dagen			in maanden	
	5	10	20	30	1	2	3	4	6	12	24	2	5	10	1	12	
T = 2 jaar	7	11	14	16	19	22	24	25	26	30	35	41	58	79	146	-	
T = 5 jaar	9	13	17	20	23	27	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	
T = 10 jaar	10	15	20	23	27	31	34	35	37	42	47	56	76	100	178	890	
T = 50 jaar	13	20	28	31	38	44	47	49	52	59	64	72	94	126	210	1000	
T = 250 jaar	-	23	35	43	57	66	70	72	77	84	90	96	119	156	246	1075	

Figuur 1: Hoeveelheden neerslag in mm, die volgens Braak ten minste zijn te verwachten.



Figuur 2: Regenkrommen van Braak en de in De Bilt waargenomen regenbuien van meer dan 20 mm (waarneming over de periode 1926 t/m 1962).

Om technische en economische redenen is het niet gewenst het afvoerstelsel te dimensioneren op de hoogst gemeten regenintensiteit c.q. neerslaghoeveelheid, doch moet een zekere overschrijding worden geaccepteerd. De mate waarin dit geaccepteerd wordt, hangt af van in hoeverre de dan ontstane wateroverlast, gezien de plaatselijke situatie, kan leiden tot onaanvaardbare gevaren of economische schaden.

Uitgangspunt moet in ieder geval zijn, dat een overmaat van water op de weg gevaarlijk voor de weggebruiker is. Het hemelwater moet dus snel worden afgevoerd, d.w.z. dat voor bovengenoemd criterium sub a. gerekend moet worden met korte buien met grote intensiteit en voor bovengenoemd criterium sub b. gerekend moet worden met voldoende berging voor buien van langere duur, maar met geringere intensiteit, waarbij de te kiezen herhalingstijd bepalend is.

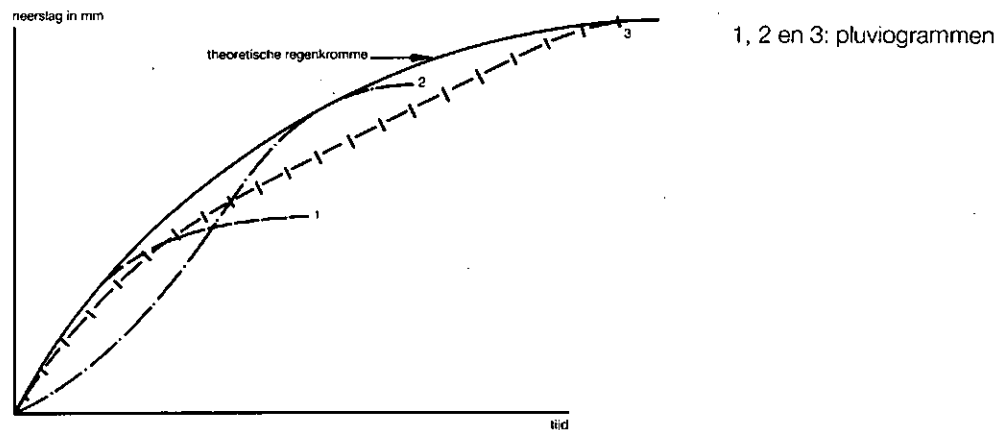
De keuze van beide grootheden (korte buien met grote intensiteit en buien van langere duur met geringere intensiteit) is arbitrair omdat vele factoren een rol spelen, zoals de grote variaties in buien, het niet constant zijn van de intensiteit van de neerslag gedurende de bui, het verschillen van de intensiteit van punt tot punt in het beschouwde gebied, de snelheid waarmee de bui zich verplaatst, de overlapping van opvolgende regens enz.

Door de diverse onderzoekers, zoals Reinhold, Levert en Braak, zijn pluviogrammen en overzichten samengesteld, waaruit is op te maken op welke intensiteiten en hoeveelheden is te rekenen.

Een pluviogram geeft de hoeveelheid neerslag in een cumulatieve vorm weer. In een pluviogram is op de horizontale as de tijd en op de verticale as de gemeten hoeveelheid neerslag aangegeven. Van een regenbui is sprake zolang het pluviogram zichtbaar stijgt.

regenkrommen

Tevens zijn theoretische regenkrommen (zie fig. 3) bepaald, welke krommen omhullenden zijn van de pluviogrammen van de werkelijke regens met een zelfde frequentie van voorkomen (herhalingstijd T).



Figuur 3: Theoretische regenkrommen

Een theoretische regenkromme is dus geen werkelijke regen, maar geeft aan een bepaalde gemiddelde herhalingsstijd T , ofwel de neerslaghoeveelheid per tijdseenheid die gemiddeld 1x per T -jaar wordt overschreden.

Door het KNMI is ook, zij het over een beperkt aantal jaren, de gemeten neerslag per 5-minuten vakje uitgedrukt in mm regenhoogte (aangenomen is dat de intensiteit van de regen in die 5 minuten constant is). Deze 5-minuten analyse is daarna door diverse bureau's statistisch verwerkt.

Door het verschillend inschatten van de parameters van de statistische verdelingsfunctie wijken de regenkrommen van elkaar af. De verschillen in de resultaten van de onderzoekers zijn het gevolg van het gebruik van verschillende typen regenmeters, de fouten bij de neerslagmetingen als gevolg van windeffect, verdamping, bevochtiging en het in- en uitspatten van regendruppels, de variabele intensiteit van de regen binnen een bui en de gehanteerde aannamen c.q. inschattingen.

Bij de meeste statistische bewerkingen zijn de pluviograafgegevens gecorrigeerd voor verschillen ten opzichte van de gewone regenmeter, echter niet voor de neerslaggegevens van de 5-minuten analyse. De regenkrommen van de verschillende onderzoekers kunnen derhalve afwijken van de werkelijkheid met een orde van grootte van 10 à 20%.

Voor het vaststellen van de herhalingsstijd T van een neerslag is uitgegaan van de regenkromme van Braak omdat Braak in vergelijking met de resultaten van de overige onderzoekers een redelijk gemiddelde geeft voor de diverse herhalingsstijden en hierbij gaat tot 1x in de 50 jaren.

Door extrapolatie is tevens een regenkromme samengesteld voor 1x in de 250 jaren (zie figuren 1 en 2).

2.1.2 Afvoercapaciteit van het afvoerstelsel

berekeningsintensiteit

Om de afvoercapaciteit van het afvoerstelsel te berekenen dient een berekeningsintensiteit te worden gekozen. Daarnaast wordt gerekend met een afvloeiingscoëfficiënt van 1 en wordt de vertraging in de afstroming van de riolen buiten beschouwing gelaten.

Aanbevolen wordt voor de berekeningsintensiteit uit te gaan van:

- 100 l/s.ha (0,6 mm/min) daar waar voldoende opvang naast de wegverharding aanwezig is en er geen gevaar is voor water op de vluchtstrook en uitspoeling van berm en taluds;
- 167 l/s.ha (1 mm/min) daar waar niet voldoende opvang naast de wegverharding aanwezig is, voor de riolen van middenbermen en indien er gevaar voor uitspoeling van berm en taluds bestaat. Deze bui wordt als een "zeer zware regen" gekarakteriseerd;
- 200 l/s.ha (1,2 mm/min) daar waar geen ruimte aanwezig is naast de wegverharding voor een extra opvang. Te denken is hierbij aan tunnels.

Bovenstaande aanbevelingen zijn in Nederland niet afhankelijk van de geografische ligging en derhalve voor geheel Nederland te hanteren.

stedelijke gebieden Bij de berekening van stedelijke riolering wordt voor de berekeningsintensiteit veelal gekozen voor een waarde tussen de 60 en 90 l/s.ha afhankelijk van de inzichten, interpretatie van regengegevens en de ervaring van de ontwerper.
Men gaat daarbij, aan de hand van de door de onderzoekers gemaakte tabellen en grafieken inzake intensiteiten en duur van de regenbuien, er vanuit dat dan slechts 1x in de 2 jaar wateroverlast op straat mag optreden.
Deze wateroverlast is slechts van korte duur en is het gevolg van een bui met een grotere intensiteit dan waarmede is gerekend en waarop de riolering is berekend.

auto(snel)wegen Bij auto(snel)wegen is het doel het voorkomen van een laagje water op het wegdek, hetgeen kan inhouden dat berekening met een grotere intensiteit wenselijk is.
Naarmate echter de intensiteit van de bui toeneemt gaan uit oogpunt van verkeersveiligheid andere factoren een rol spelen, zoals belemmering van het zicht, onvoldoende werking van ruitenwissers en optreden aquaplaning.
Hierdoor zal hét verkeer tot lagere snelheden of zelfs tot stilstand komen. Bovendien duurt zo'n bui zo kort, dat de totale hoeveelheid gering is en voorzover het niet afvloeit in de goten wordt geborgen.
Uit de literatuur en ontvangen gegevens blijkt dat voor de dimensionering van de afvoerstelsels voor hemelwater van auto(snel)wegen voor het merendeel wordt uitgegaan van een berekeningsintensiteit van 100 l/s.ha (0,6 mm/min), zonder te rekenen met een afvloeiingscoëfficiënt (zie 3.2) en vertraging in de afstroming in de riolen (zie 3.3).
Incidenteel wordt, indien niet voldoende opvang naast de wegverharding aanwezig is, gerekend met een berekeningsintensiteit van 167 l/s.ha (1 mm/min) resp. 200 l/s.ha. (1,2 mm/min). Voldoende opvang wil zeggen dat het water dat niet via het afvoerstelsel wordt afgevoerd via de berm wordt afgevoerd of tijdelijk daar wordt geborgen en niet op de weg blijft staan. Onvoldoende opvang wil zeggen dat de afvoer via de berm of de berging aldaar niet voldoende is en er water op de weg zal blijven staan.
Door het kiezen van een grotere berekeningsintensiteit wordt het afvoerstelsel ruimer gedimensioneerd, zodat de kans van overlast van water op de weg of uitspoeling van berm en taluds minder wordt.

2.1.3 Berging in het afvoerstelsel

Aan de hand van de plaatselijke situatie dient te worden bepaald van welke neerslaghoeveelheid voor de berekening wordt uitgegaan en hoeveel maal men overschrijding hiervan (1x per 10 jaar, per 50 jaar enz.) aanvaardbaar vindt.

Aanbevolen wordt uit te gaan van:

- 1x per 10 jaar voor de situaties, waarbij, nadat de berging in het afvoerstelsel is gevuld, er voldoende ruimte aanwezig is naast de wegverharding voor een extra opvang;
- 1x per 50 jaar voor de situaties, waarbij, nadat de berging in het afvoerstelsel is gevuld, er slechts een beperkte ruimte aanwezig is naast wegverharding. Te denken is hierbij aan verlaagde weggedeelten, grote knooppunten en verkeerspleinen, waterwingebieden;
- 1x per 250 jaar waarbij, nadat de berging in het afvoerstelsel is gevuld, er geen ruimte aanwezig is naast de wegverharding voor een extra opvang. Te denken is hierbij aan tunnels.

neerslaghoeveelheid Met het oog op de benodigde berging en eventuele pompafvoercapaciteiten in het afvoerstelsel is niet de intensiteit van de regenbui van belang maar de hoeveelheid neerslag (gemeten in mm) per regenbui.

2.2 Smeltwater

Voor de berekening van een afvoerstelsel hoeft geen rekening te worden gehouden met de afvoer van smeltwater.

In het algemeen zal onmiddellijk met het ruimen van sneeuw op auto(snel)wegen worden begonnen, zodat in principe alleen het smeltwater van middenbermen en bermen bij ingravingen aandacht verdient indien deze bevroren zijn.

Uitgangspunt hierbij is dat bij het ruimen van sneeuw ook de kolkinlaten sneeuwvrij worden gemaakt. Het dooimiddel in het smeltwater zorgt er dan voor dat de goten en kolken de afvoerfunctie kunnen blijven vervullen.

De hoeveelheden smeltwater per tijdseenheid zijn gering en zelfs in combinatie met gelijktijdige regenval zullen de af te voeren hoeveelheden neerslag minder zijn dan die ten gevolge van zomerbuien.

2.3 Samenstelling van hemelwater

verontreiniging De mate van verontreiniging van het van het wegdek afstromende water wordt onderzocht in het kader van een "Literatuuronderzoek naar de samenstelling van de runoff van wegen en voorspelende berekeningen ten aanzien van de bermbodem- en grondwaterkwaliteit voor een periode van 100 jaar".

Zodra de resultaten van dit onderzoek bekend zijn zal worden nagegaan of het noodzakelijk is speciale voorzieningen te treffen en deze in aanvullende richtlijnen te verwerken.

In het af te voeren hemelwater kunnen als gevolg van verontreinigingen in de lucht en op de weg (bandenslijpsel, looduitworp, olie- en benzinelekkages, strooizout o.i.d.) schadelijke stoffen voorkomen, die enerzijds het milieu belasten (bodem- en oppervlaktewatervervuiling) en anderszijds tot aantasting van de voor de afvoer gebruikte bouwstoffen kunnen leiden.

Genoemde effecten kunnen ook optreden als gevolg van calamiteiten bij vervoer van schadelijke stoffen.

Voor de bouwstoffen kan dit betekenen dat moet worden gekozen voor bouwstoffen die niet worden aangetast door bepaalde stoffen.

Voor milieugevoelige gebieden (b.v. waterwingebieden enz.) kan dit betekenen dat het hemelwater in zijn geheel moet worden afgevoerd tot buiten deze waterwingebieden.

3 Afstroming

3.1 Verharde en onverharde oppervlakken

In het tot de weg behorende gebied onderscheidt men verharde en onverharde oppervlakken. De verharde oppervlakken zijn die delen, waarvan de neerslag direct wordt afgevoerd via bermen of goten en riolen naar de bermsloten e.d. De onverharde oppervlakken zijn die delen, waarvan de neerslag niet of nauwelijks via een afvoerstelsel zal worden afgevoerd, maar in de bodem wegzakt.

Onverharde oppervlakken kunnen door vorst tijdelijk in verharde oppervlakken veranderen, doch dit is, zoals in 2.2 gesteld, voor de dimensionering van een afvoerstelsel in het algemeen niet van belang. Uitzonderingen hierop kunnen vormen ingravingen met verhoudingsgewijs een groot bermoppervlakte ten opzichte van de rijbaan.

Door dichtslibbing van bermen kan het drainerend vermogen van de grond afnemen. Het op de zijbermen vallend water vloeit dan voor een deel rechtstreeks af naar de langs de weg gelegen greppel of sloot. Voor de middenberm zal, tenzij er reeds om andere redenen een riolering aanwezig is, het water voor een deel over de rijbaan afstromen.

3.2 Afvloeiingscoëfficiënt

De afvloeiingscoëfficiënt is een coëfficiënt, die uitdrukt welk gedeelte van de neerslag in het afvoerstelsel terecht komt.

**grote
afvloeiingscoëfficiënt**

Ter vereenvoudiging is aan te houden dat alle neerslag op verharde oppervlakken (ook drainerende verhardingen, zie 11.7) wordt afgevoerd en er geen vertraging of vervorming in de afvoer plaatsvindt. De afvloeiingscoëfficiënt is derhalve 1.

De afvoer van onverharde oppervlakken wordt verwaarloosd. Slechts in bijzondere gevallen wordt aanbevolen de onverharde oppervlakken in de berekening mee te nemen, zoals bij steile taluds in het dwarsprofiel (een weg in ingraving) en leem- of kleibekledingen op bermen of taluds.

De hiervoor te hanteren afvloeiingscoëfficiënten zijn niet aan de literatuur of de praktijk te ontleen, zodat volstaan moet worden met de volgende aannamen:

	grond goed doorlaatbaar	grond minder doorlaatbaar
middenberm	0	0,1
taluds 1:5 tot 1:3	0,1	0,2
taluds 1:3 tot 1:1	0,2	0,3

Voor een nauwkeurige bepaling zal door middel van een geohydrologisch onderzoek bovengenoemde coëfficiënten dienen te worden afgestemd op de uit dit onderzoek volgende doorlatendheid van de grond. Bovengenoemde coëfficiënten dienen voorts te worden afgestemd op de in de praktijk opgedane ervaringen.

De afvloeiingscoëfficiënt hangt af van een aantal factoren, te weten:

- het aanwezig zijn van een droog of van een vochtig oppervlak als de neerslag begint (temperatuur en jaargetijden);
- de mate van indringing in verhard oppervlak (gesloten verharding, zeer open asfaltbeton, klinkerverharding enz.);
- oneffenheden in het wegoppervlak en de waterfilmdikte, (berging op straat);
- verdamping (temperatuur en jaargetijden);

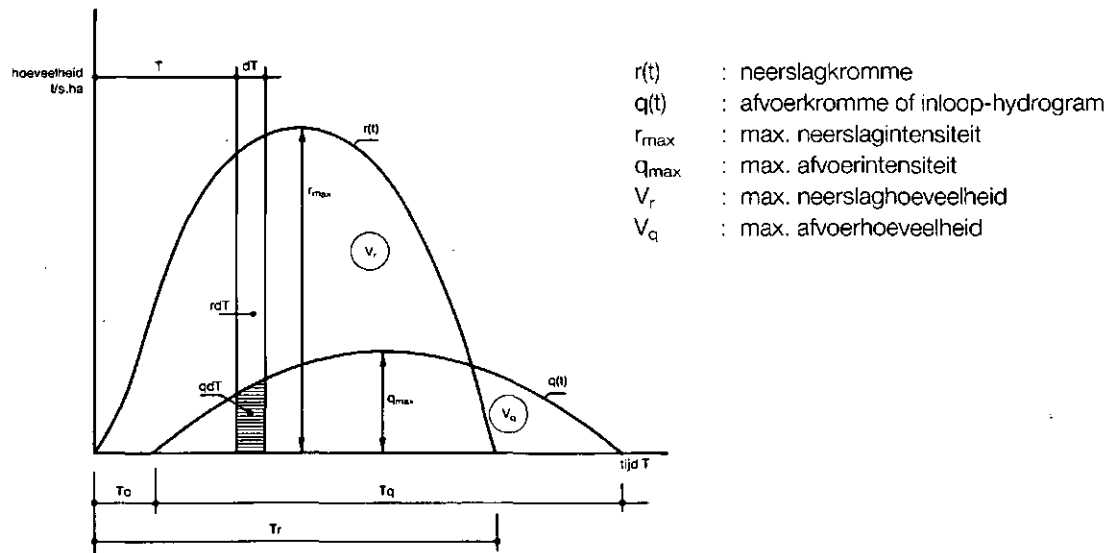
- duur en intensiteit van de regen;
- effect van wind en verkeer;
- het dichtslibben van aangrenzende onverharde oppervlakken.

Door metingen en onderzoek heeft men getracht de afvloeingscoëfficiënt voor de diverse soorten oppervlakken, als volgt vast te stellen:

- gesloten wegdek (asfalt en beton)	0,8 - 0,95
- klinkerbestrating	0,7 - 0,85
- steenslagweg	0,3 - 0,6
- grind- en sintelwegen	0,15 - 0,3
- onverhard (bermen met gras, beplanting, mijnsteen e.d.)	0 - 0,1

De afvloeingscoëfficiënt is echter niet constant door vervorming en vertraging bij de inloop in het afvoerstelsel (d.w.z. dat het inloop-hydrogram niet samenvalt met de neerslagkromme, zie figuur 4) en als gevolg van de tijdelijke berging in het afvoerstelsel (vervorming van het inloop-hydrogram tot een uitloop-hydrogram).

De afvloeingscoëfficiënt is dan ook te zien als een gemiddelde, afhankelijk bovendien van de eerder genoemde factoren. De bepaling van de juiste waarde van de afvloeingscoëfficiënt is in feite niet mogelijk, getuige ook de verschillende resultaten van de diverse onderzoekers.



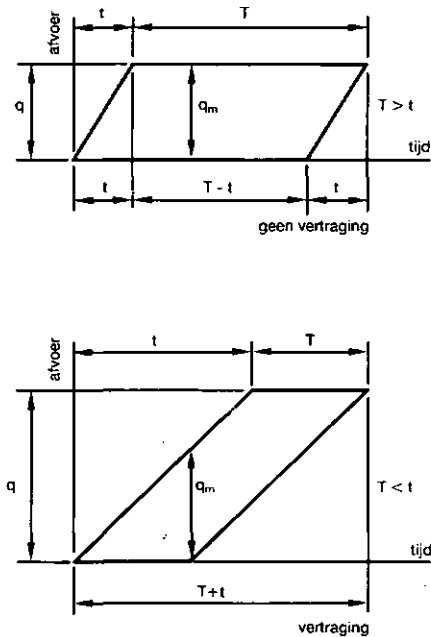
Figuur 4. Neerslagkromme en inloop-hydrogram

3.3 Vertraging in het afvoerstelsel

Bij het berekenen van goten en riolen wordt geen rekening gehouden met vertraging.

In een afvoerstelsel zal door een goot, riool of bermsloot niet alleen het water van het direct hierop afvoerend oppervlak stromen, doch ook het water van de bovenstrooms hiervan gelegen oppervlakken.

Het water van de bovenstroomse oppervlakken komt later, zodat op een gegeven ogenblik slechts een zeker percentage van de totale hoeveelheid tegelijk door een goot, riool of bermsloot stroomt. Men noemt dit de zogenaamde vertraging in de afvoer (zie figuur 5).



- t : looptijd door het afvoerstelsel
- T : regenduur
- q : neerslaghoeveelheid per seconde
- q_m : max. afvoerhoeveelheid per seconde

Figuur 5: Vertragingverschijnsel.

Dit gaat evenwel alleen op voor een neerslag die gelijkmatig op een gebied valt en van kortere duur is dan de looptijd in het afvoerstelsel.

Bij langere duur van een regenbui verdwijnt dit effect gedurende een gedeelte van de tijd en zijn de goten en riolen c.a. te dimensioneren op de totale hoeveelheid (per seconde) van het eigen oppervlak en de bovenstrooms hiervan gelegen oppervlakken. Voorts treedt het verschijnsel niet op als de regenbui zich met de stroomrichting in de goot en het riool mee verplaatst.

Gezien de veelal beperkte omvang van afvoerstelsels bij auto(snel)wegen zal de duur van de regenbui de looptijd in het afvoerstelsel overtreffen en kan derhalve het vertragingverschijnsel bij het berekenen van goten en riolen buiten beschouwing blijven.

In bijzondere gevallen kan met de invloed van vertraging worden gerekend met behulp een computerprogramma waarbij voor regenbuien met verschillende intensiteiten en duur het dynamisch stromingsgedrag in een afvoerstelsel wordt gesimuleerd.

De resultaten worden bijvoorbeeld benut voor de bepaling van het effect van vertragingverschijnselen, dimensionering van stuwende elementen, onderzoek naar de werking van bergbassins enz.

3.4 Lekwater

Bij het berekenen van de riolen wordt geen rekening gehouden met lekwater.

Veelal liggen de riolen beneden de grondwaterstand. Via de buizen en de voegen kan grondwater, het zgn. lekwater, de leiding binnendringen. De hoeveelheid lekwater hangt dan af van de diepteligging van het riool, de omringende grondsoort, de kwaliteit van de buizen, de dichtheid van de verbindingen tussen de buizen en de buisvulling. Bij een juiste keuze van bouwstoffen en constructies en bij een zorgvuldige uitvoering zal echter geen lekkage optreden of verwaarloosbaar klein zijn. Bij de dimensionering van de riolen kan daarom lekwater buiten beschouwing blijven.

4 Ontwerp afvoerstelsels

4.1 Voorwaarden

Het is van groot belang het hemelwaterafvoerstelsel direct te betrekken in het ontwerp van de weg.

Het ontwerp van de weg moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

- afstroming van water onder natuurlijk verval en langs de kortste weg;
- het zo kort mogelijk houden van verkantingsovergangen bij wisseling van de dwarshelling;
- van naast de weg liggende vlakken toestromend water (ook van smeltende sneeuw) moet vóór de rijbaan worden opgevangen;
- het bovenstreams van kunstwerken gelegen weggedeelte altijd vóór het kunstwerk voorzien van een afvoerstelsel, zodat het weggedeelte niet via het kunstwerk afwatert;
- onder wegverhardingen zo min mogelijk riolen aanleggen vanwege de verdichtingsproblematiek van de rioolsleuf;
- naast de wegverharding de plaats van de riolen af te stemmen op de overige wegvoorzieningen.

Het hemelwaterafvoerstelsel moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

- uniform van opzet.
- bedrijfszeker, ook tijdens de afbouw van de weg na de aanleg van het stelsel.
Het ontwerp dient zodanig te zijn dat in de verschillende fasen van de aanleg van de weg het hemelwater kan worden afgevoerd.
Dit geldt met name voor het opvanggedeelte (goten en kolken) waarvoor zonodig tijdelijke voorzieningen (hulpgoten, tijdelijke roosters op onderbakken van kolken) moeten worden getroffen.
- onderhoudsarm en goede bereikbaarheid voor inspectie, onderhoud en herstel.
Bij het ontwerp dient men er naar te streven dat het onderhoud tot een minimum wordt beperkt en, waar nodig, zo mogelijk mechanisch kan worden uitgevoerd. De plaatsen in de stelsels van waaruit inspectie en onderhoud plaats zullen vinden dienen gemakkelijk bereikbaar te zijn.
- milieu-vriendelijk.
Daar waar lozing van hemelwater aanleiding kan geven tot verontreinigingen van bodem en/of ontvangend water dienen aanvullende voorzieningen te worden getroffen. Deze voorzieningen zijn afvoer via slib/zandopvangputten, benzine- en olie-afscheiders of transport naar een ontvangend water waarop lozing geen bezwaar is, naar gemeentelijke rioolstelsels of naar zuiveringsinstallaties.
- wettelijke voorschriften.
Rekening dient te worden gehouden met het gestelde in de volgende wetten:
 - wet verontreiniging oppervlaktewater;
 - wet bodembescherming.Indien in het afvoerstelsel rioolgemaal en/of zuiveringstechnische werken zijn opgenomen dient voorts rekening te worden gehouden met:
 - hinderwet;
 - wet geluidhinder;
 - wet inzake de luchtverontreiniging.
 - lozingsverordening riolering (bij aansluiting op een gemeentelijk rioolstelsel).

De uit bovengenoemde wetten voortvloeiende benodigde vergunningen dienen te worden aangevraagd overeenkomstig de "wet algemene bepalingen milieuhygiëne" (WABM), waarin in hoofdzaak de coördinatie bij behandeling van aanvragen is geregeld.

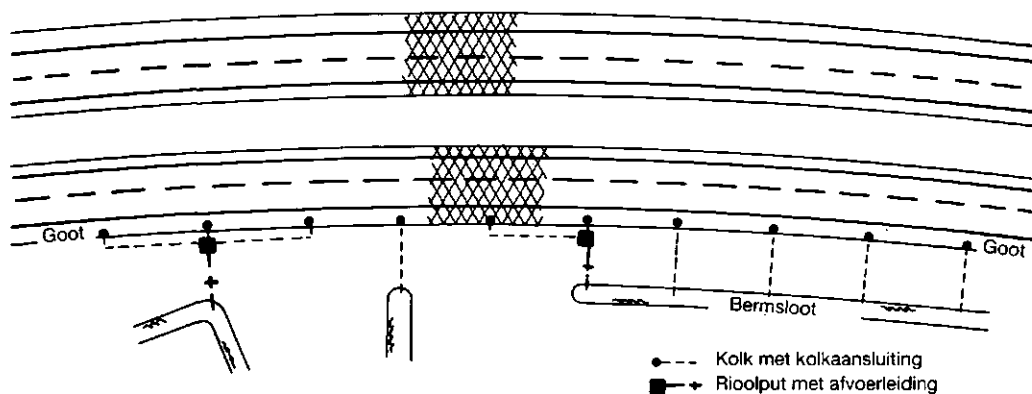
Uniformiteit leidt tot standaardconstructies, waardoor ook standaardisatie in de toepassing van bouwstoffen mogelijk is en kostenbesparend kan worden gewerkt bij aanleg, inspectie en onderhoud.

Ter beperking van de benodigde tijd voor inspectie en onderhoud en de eventuele benodigde verkeersmaatregelen, alsmede met het oog op mechanisch reinigen, kan het nuttig zijn onderdelen van het stelsel grotere afmetingen te geven dan die welke uit de berekening volgen.

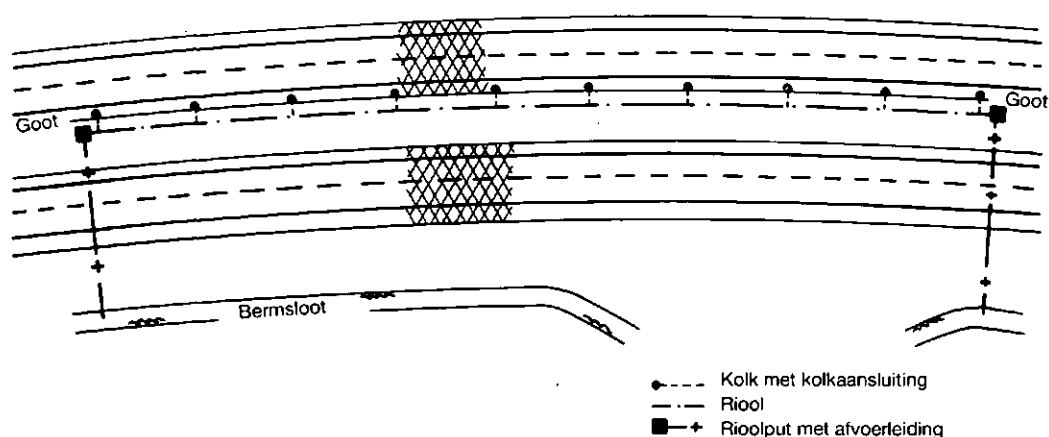
4.2 Systemen, keuze en plaatsbepaling

- systemen** Het hemelwater dient volgens een van de navolgende systemen te worden afgevoerd:
- vrije afvoer via de bermen naar de bermsloot;
 - afvoer onder vrij verval via goten en kolken met aansluitleidingen rechtstreeks op de bermsloten;
 - afvoer onder vrij verval via goten en kolken met aansluitleidingen op riolen en rioolputten. Vanuit de rioolputten via afvoerleidingen verdere afvoer onder vrij verval op de bermsloten, bergvijvers of zakputten. De bermsloten aan te sluiten op watergangen van polders e.d.
 - afvoer onder vrij verval via goten en kolken met aansluitleidingen op riolen en rioolputten met uitmondning van het riool op een rioolgemaal (of pompput). Vanuit het rioolgemaal het hemelwater via een persleiding afvoeren naar bijv. een hiertoe geschikte watergang of een gemeentelijk rioolstelsel.

In de figuren 6 en 7 zijn een tweetal oplossingen schematisch weergegeven.



Figuur 6: Directe afvoer van kolken op bermsloot.



Figuur 7: Geconcentreerde afvoer op bermsloot via riool.

keuze De keuze, uitgebreidheid en diepteligging van het afvoerstelsel dient te worden bepaald aan de hand van het wegontwerp (hoogten, lengte- en dwarsprofielen, helling, verkanting, bochten, verlaagde gedeelten, obstakelvrije zone's enz.) en de waterhuishoudkundige situatie ter plaatse van het te maken afvoerstelsel (zoals mogelijkheid tot aanleg van bermsloten, nabij gelegen of te kruisen watergangen met maximum waterstanden, ligging in waterwingebieden enz.). In verband met de waterhuishoudkundige situatie dient altijd contact te worden opgenomen met het waterschap in het betreffende gebied, zodat het ontwerp mede kan worden afgestemd op het ontwateringsplan van het waterschap en de benodigde afmetingen van de bermsloten kunnen worden vastgesteld.

Bij de te maken keuze moet worden gestreefd naar de eenvoudigst mogelijke vorm van afvoeren. Zie de volgorde zoals onder systemen is aangegeven. Indien de kolkaansluitingen uit kostenoverwegingen te lang worden moet een riool voor de opvang van de aansluitleidingen worden toegepast. Bij toepassing van een riool moet de afvoer naar een bermstoot e.d. via rioolput en afvoerleiding plaatsvinden zodra dit mogelijk is.

Indien voldoende afschot in de aansluitleidingen en de riolen aanwezig is kan ook het zogenaamde "zelfreinigend" systeem, waarbij de kolken en putten van een uitvulling worden voorzien, in aanmerking komen (zie ook 6.2 mager en 6.4 mager). Het doel hiervan is dat het vuil niet bezinkt in de kolken of de putten en het schoonmaken vrijwel tot nul wordt gereduceerd.

plaatsbepaling Bij de plaatsbepaling van het afvoerstelsel moet rekening worden gehouden met andere aan te brengen, of eventueel later aan te brengen, wegvoorzieningen zoals beplantingen, geleiderailconstructies, geluidsschermen, praatpalen, lichtmasten, uithouders en portalen voor bewegwijzering enz. In normblad NEN 1738 zijn richtlijnen gegeven voor de plaats van leidingen en kabels in wegen buiten de bebouwde kom. Binnen de Rijkswaterstaat gelden enkele speciale bepalingen welke afwijken van dit normblad, te weten:

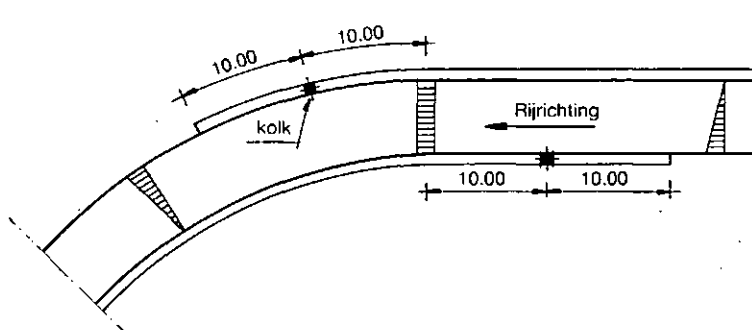
- de afstand van de leidingen parallel aan de rijbaan moet zodanig zijn dat de stabiliteit van het weglichaam gewaarborgd blijft;
- zo mogelijk dient een strook van vijf meter naast de rijbaan gereserveerd te worden, waarin geen leidingen en kabels van derden mogen liggen;
- zo mogelijk dienen leidingen en kabels van derden aan één zijde van de weg te worden geprojecteerd.

Doorvoeringen in dwarsrichting van het weglichaam dienen, zo enigszins mogelijk, te worden voorkomen, met name in zettingsgevoelige gebieden. Doorvoeringen door een bestaand weglichaam dienen zo mogelijk via doorpersen te geschieden. De afstand van de bovenkant van het riool, mantelbuis e.d. tot de onderkant van de verharding dient hierbij minimaal 0,8 m te zijn.

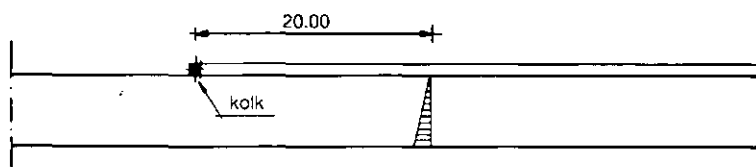
4.3 Kolken

situering Uit een bij het ontwerp gemaakt stromingsbeeld van het hemelwater over het wegoppervlak kan de plaats van het opvanggedeelte (goten en kolken) van het stelsel worden bepaald. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden met de factoren wind en verspreiding in de rijrichting door het verkeer en eventuele spoorvorming, waardoor een extra opvanggedeelte over 20 m nodig is. Ter voorkoming van gronduitspoeling moet in het extra opvanggedeelte een kolk worden geplaatst. Zie hiervoor de figuren 8 en 9.

De kolken uitvoeren met achteraansluiting. Daar waar voor de aansluiting op het riool of de rioolput weinig ruimte is, kan een zij-aansluiting worden toegepast.



Figuur 8: Situering kolken ter plaatse van verkantingsovergang.



Figuur 9: Situering kolk bij beëindiging goot.

Met behulp van het computerprogramma WATWEG kunnen de nodige afvoerlijnen theoretisch worden bepaald.

Sterk convergerende afvoerlijnen zijn een indicatie voor de concentratie van hemelwater op één punt en kunnen aanleiding zijn voor kortere kolkafstanden of grotere rooster- en kolkafmetingen.

Een brochure van het computerprogramma WATWEG is verkrijgbaar bij directie Bruggen – dienst Bouwspeurwerk Automatisering Wegontwerp – te Voorburg.

4.4 Riolen, rioolputten, afvoerleidingen

De kolkafvoerleidingen worden aangesloten op riolen, ingeval het water niet rechtstreeks op een bermsloot kan lozen. In de riolen worden rioolputten opgenomen ten behoeve van inspectie en onderhoud. De rioolputten zijn tevens noodzakelijk voor het verbinden van riolen bij verschil in middellijn, bouwstoffen en hoogteligging, alsmede voor richtingsverandering en kruising van of aansluiting op andere rioolleidingen.

Het water wordt vanuit de rioolputten via afvoerleidingen op de bermsloot geloosd of via het riool geloosd in het rioolgemaal (of pompput) en van daaruit weggeperst.

De riolen en rioolputten dienen in de berm, zo dicht mogelijk bij de kolken te worden gelegd. Daar waar ook kolken rechtstreeks op de rioolputten worden aangesloten moet tussen kolk en rioolput voldoende ruimte zijn voor de montage van de kolkaansluitleiding.

Daar waar geen ruimte is in de berm kan het riool ter plaatse van en onder de kolken worden gelegd. In dat geval kan worden overwogen de kolken uit te voeren met grote onderbakken en deze onderbakken onderling met riolen te verbinden.

Het verhang van de leiding dient minstens 1:1000 te zijn.

Het bodemverhang van de leidingen zal afhankelijk zijn van het beschikbare hoogteverschil tussen het begin- en eindpunt van het riool.

Bij het beginpunt wordt de diepteligging bepaald door het aanhouden van een dekking van 1 m op de kruin van de buis. Bij het eindpunt wordt de hoogteligging bepaald door de bodemhoogte van de waterloop waarop wordt geloosd.

Het hoogteverschil gedeeld door de lengte van het riool geeft het gemiddelde verhang. Aanbeveling verdient het in ieder geval het bodemverhang zo groot mogelijk te maken. Indien het verhang flauwer wordt dan 1:1000 dient de bodem van de waterloop te worden verlaagd. Indien verlaging van de waterloop niet mogelijk is zal toch een flauwer verhang moeten worden aangehouden, hetgeen niet van invloed is op de hydraulische afvoercapaciteit, maar wel op mogelijke extra bezinking.

4.5 Bermsloten c.a. en berging

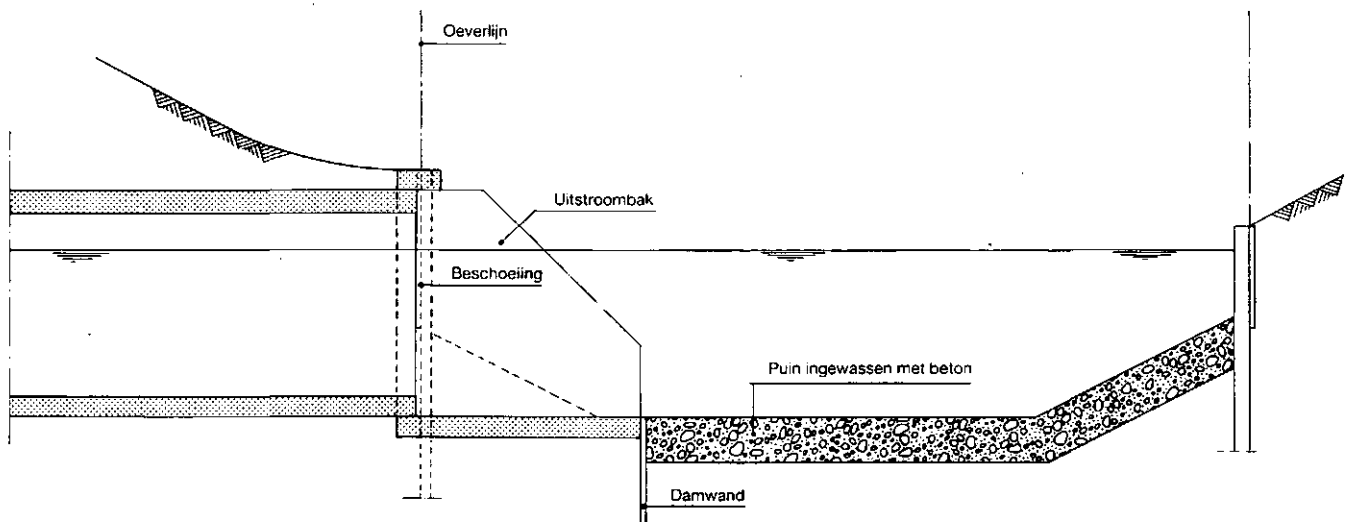
Zoals in 4.2 gesteld zal ten aanzien van de bermsloot, watergang c.a. (plaats en capaciteit) overleg met de betreffende beheerder moeten plaatsvinden.

Aan de hand van gegevens, als vermeld in 5, en met behulp van de formules, als vermeld in bijlage B, kunnen de benodigde afmetingen worden berekend.

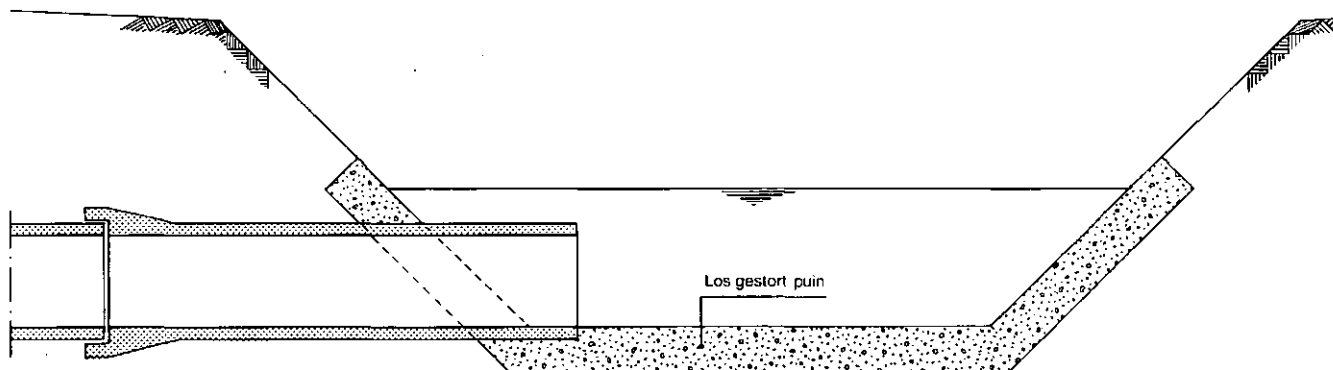
Uit de berekening volgt voorts de eventuele noodzaak te zorgen voor een tijdelijke berging en te rekenen met de benodigde ruimte ten behoeve van de berging (verbreding bermsloot, bergbassins, bergvijver, bergbezinkbassins) of ten behoeve van bezinking in de ondergrond (grindkoffer, bezinkvijver). Toepassing van bezinking zal afhankelijk zijn van de infiltratiecapaciteit van de ondergrond. Hierbij dient er mede te worden gerekend dat de capaciteit door dichtslibben zal afnemen.

Ter plaatse van de uitmondingen van leidingen een uitstroombak en een bodem- en taludbekleding aanbrengen. In de bermsloten daar waar dit verder nodig mocht blijken (b.v. als gevolg van de stroomsnelheid) een bodem- en taludbekleding aanbrengen.

Zie de figuren 10 en 11.



Figuur 10: Voorbeeld van een bodem- en taludbekleding ter plaatse van uitmonding afvoerleiding.



Figuur 11: Voorbeeld van een uitstroombak ter plaatse van uitmonding afvoerleiding.

4.6 Zuiveringstechnische werken

In het kader van het kwaliteitsaspect van het af te voeren water (zie 2.3) zullen per geval (bijv. waterwingebieden) de eventueel benodigde voorzieningen en de plaatsen hiervan moeten worden bepaald.

4.7 Rioolgemaal en persleiding

De plaats, capaciteit en vormgeving van een eventueel benodigd rioolgemaal met persleiding zal per geval moeten worden bepaald.

Voor het ontwerp c.a. van rioolgemalen en persleidingen zal derhalve een terzake deskundige moeten worden ingeschakeld (bijv. directie Bruggen, Rijkswaterstaat).

Daar waar een persleiding de weg kruist, moet een mantelbuis worden toegepast.

De diversiteit in rioolgemalen en persleidingen is groot, omdat beiden geheel worden afgestemd op het betreffende object.

Bij een rioolgemaal is hierbij te denken aan de keuze tussen een natte of droge opstelling van de pompen, de keuze tussen een rioolgemaal met of zonder bovenbouw, het opstellen van een pompenregiem (al dan niet met reservepomp); het opnemen en het vaststellen van de aard en omvang van een signaleringssysteem, enz.

Bij een persleiding is hierbij te denken aan het opnemen van ontstoppingsstukken resp. inspectieputten, bochtverankeringen, ontluchtingen (mede aan de hand van het lengteprofiel), doorpersingen, schoonmaakinrichting enz.

5 Hydraulische berekening

De hydraulische berekening dient, afhankelijk van het gekozen systeem, het volgende te omvatten:

- de berekening van de af te voeren hoeveelheden;
- de berekening van de middellijn en het hydraulisch verhang in de riolen en afvoerleidingen;
- de berekening van de profielen van bermsloten;
- de berekening van pompcapaciteiten en middellijnen van persleidingen.

Voor de hydraulische berekening zijn de volgende gegevens nodig:

- wegontwerp (hoogten, lengte- en dwarsprofielen, hellingen, verkantingen, bochten, bermsloten enz.);
- situering nabijgelegen of te kruisen watergangen met maximum waterstanden;
- berekeningsintensiteiten (zie 2.1.1);
- verharde en onverharde oppervlakken, voor zover ze via het afvoerstelsel afwateren (zie 3.1);
- afvloeiingscoëfficiënt (zie 3.2);
- samenstelling van het af te voeren hemelwater (zie 2.3) en de eventueel hieruit voortvloeiende eisen inzake de afvoer en de lozingspunten die door derden kunnen worden gesteld.

formules Voor de berekening van leidingen wordt uitgegaan van de formule van Darcy-Weisbach en de formule van Colebrook.

Voor het uitvoeren van de berekeningen kan gebruik worden gemaakt van computerprogramma's. Naast genoemde formules wordt ook nog wel gebruik gemaakt van de formule van Kutter of de formule van Manning-Strickler.

De in het verleden ontwikkelde eenvoudige empirische formules, zoals die van Kutter en van Bazin gelden alleen onder bepaalde omstandigheden of zijn voor een zeker toepassingsgebied ontwikkeld. De formule van Colebrook vindt echter algemeen toepassing omdat deze, zonder grote afwijkingen is te gebruiken voor het gehele gebied van de turbulente stroming. In bijlage B wordt nader ingegaan op de gebruikte formules.

voorbeeld berekening In bijlage C zijn berekeningsvoorbeelden gegeven voor de navolgende elementen:

- kolkafstand;
- kolkaansluitleiding;
- riool;
- waterloop;
- duiker.

5.1 Kolkafstanden

Bij het gekozen gootprofiel kan de maximale kolkafstand bij een gegeven zijdelings invoerdebiet per m weglengte en een gegeven langshelling worden afgelezen van de in bijlage B punt 1 vermelde grafieken voor kolkafstanden in goten.

Het maximaal per kolk afwaterende wegoppervlak is uit praktische overwegingen beperkt tot ca. 600 m², waardoor de kolkafstand afhankelijk van de verhardingsbreedte wordt begrensd door een maximale waarde. Aanbeveling verdient het echter de afstand tussen de kolken op maximaal 40 m te stellen. Voor de kolkaansluitleiding wordt een buis gekozen met een minimum middellijn van \varnothing 125 mm uitw. om te voorkomen dat takjes of iets dergelijks zich klem kunnen zetten in de buis.

Het profiel van de goot wordt door de ontwerper vastgesteld en is onder andere afhankelijk van de situatie, de beschikbare ruimte en de verkeersveiligheid.

5.2 Rioolbuizen

De hydraulische dimensionering dient te worden uitgevoerd met de in bijlage B, punt 2 gegeven formules van Darcy-Weisbach en van Colebrook.

In de formule van Colebrook dient voor de wandruwheid (k-waarde) te worden ingevuld bij:

- buizen van beton : 1,5 mm;
- buizen van kunststof : 1 mm.

Van put tot put dient de af te voeren hoeveelheid en het beschikbaar verhang te worden vastgesteld om de middellijn van het riool tussen twee putten te berekenen.

De maximum toegelaten snelheid van het water in de riolen dient gesteld te worden op 2 m/s.

De stromingsweerstand van een rioolstelsel wordt slechts voor een deel bepaald door de wrijving van het water langs de buiswand.

De weerstand wordt daarnaast in belangrijke mate bepaald door de energieverliezen ten gevolge van vertragingen bij buisverbindingen, kolk- en huisaansluitingen, knikken en bochten, in- en uitstromingen van rioolputten, enz. Deze vertragingverliezen zijn alle op zich te berekenen m.b.v. daartoe ontwikkelde tabellenboeken. Voor het ontwerp van rioolstelsels wordt dit meestal achterwege gelaten; het zou zeer veel tijd vergen, terwijl onzekerheden zoals slibafzettingen, slijmhuidevorming, vervorming van kunststofriolen enz. een dergelijke nauwkeurige berekening minder zinvol maken.

In de rioleringspraktijk is het daarom gebruikelijk om de weerstanden in leidingen en van put- en kolkaansluitingen, rioolputten, bochten, knikken enz. samen te nemen en tot uitdrukking te brengen in een aangepaste waarde van de wandruwheid van de leidingen en te kiezen voor de hierboven aangegeven waarden voor de wandruwheid.

In bijlage B zijn diverse grafieken en tabellen opgenomen waarin de resultaten van de berekeningen voor bepaalde waarden zijn weergegeven.

Ter plaatse van elke kolkaansluitleiding wijzigt de afvoerhoeveelheid. Het riool wordt echter van put tot put berekend, waarbij wordt uitgegaan van een gemiddelde toevoer van de tussen deze twee putten aangesloten kolken.

Bij de berekening van de riolen dient men er van uit te gaan dat de dekking op de hoogwaterlijn (afstand tussen hoogwaterlijn en maaiveld) min. 0,30 m is.

De hoogwaterlijn is de lijn die kan worden getrokken door de punten waar de waterdruk bij de gehanteerde berekeningsregen nul is.

Het beschikbaar verhang is het hoogteverschil tussen bovengenoemde hoogtewaterlijn en de waterhoogte of binnenbovenkantbuis (indien de waterhoogte lager is dan binnenbovenkantbuis) ter plaatse van het lozingspunt.

De maximum toelaatbare snelheid in riolen is beperkt ter voorkoming van slijtage, te grote turbulenties en te grote uitstroomsnelheden.

5.3 Waterlopen

De hydraulische berekening dient te worden uitgevoerd met de in bijlage B, punt 4 gegeven formule van Manning.

Voor de wandruwheid (K_m -waarde) voor begroeide waterlopen dienen de in onderstaande tabel gegeven waarden te worden ingevuld:

	winter	zomer
1. kleine waterlopen ($d < 0,8$ m):		
– lichte grond	35	20
– zware grond of met veel begroeiing	25	15
2. middelgrote waterlopen ($0,7 < d < 1,7$ m):		
– lichte grond	40	30
– zware grond of met veel begroeiing	30	20
3. grote waterlopen ($d > 1,5$ m)	40-50	–

d = waterdiepte

Figuur 12: K_m -waarden voor begroeide waterlopen.

De berekeningen voor waterlopen kunnen worden onderscheiden in berekeningen voor waterlopen met een ongelimiteerde afvoer en met gelimiteerde afvoer.

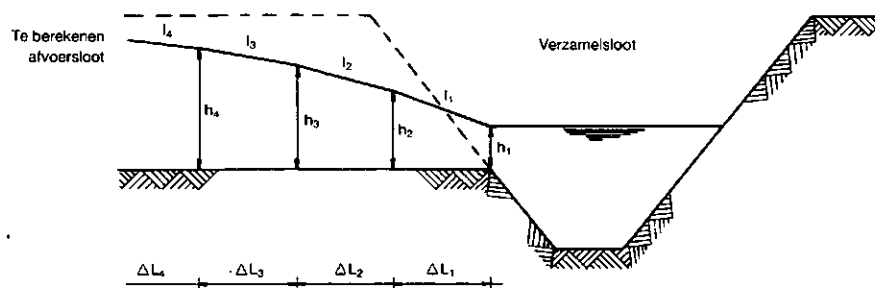
5.3.1 Ongelimiteteerde afvoer

Een waterloop met ongelimiteerde afvoer moet worden berekend op de afvoer van de vanuit het rioolstelsel geloosde hoeveelheid hemelwater, zonodig vermeerderd met de afvoer van hemelwater vanuit de aangrenzende terreinen (zie 3.2) en de landelijke afvoer (zie 5.3.2).

Voor de berekeningswijze wordt onderscheidt gemaakt in waterlopen met een hellende bodem en met een horizontale bodem.

hellende bodem Bij een waterloop met een hellende bodem zal bij een constante af te voeren hoeveelheid water Q (debiet) de waterspiegel het verhang van de bodemhelling aannemen. De waterdiepte h is afhankelijk van de bodemhelling S , het slootprofiel en het debiet Q . Bij een constant debiet zal de waterdiepte constant zijn (evenwichtsdiepte); alleen aan de beide uiteinden kunnen geringe afwijkingen optreden.

horizontale bodem Bij een waterloop met een horizontale bodem zullen bij een constant debiet Q de waterdiepte h , de snelheid v en het verhang I van de hoogwaterlijn variëren. Voor de berekening wordt de totale slootlengte L verdeeld in X -delen $\Delta L_{1,2,\dots,x}$. (zie figuur 13).



Figuur 13: Berekeningsschema waterloop met horizontale bodem.

Bij het benedenstroomse einde van de waterloop kan voor het eerste deeltje ΔL_1 met de waarde h_1 het verhang I_1 worden berekend. Met I_1 kan voor het deeltje ΔL_2 een nieuwe h_2 worden bepaald, waarmee weer een nieuwe I_2 kan worden berekend, enz. Bij deze methode wordt het kromme verloop van de hoogwaterlijn benaderd door een serie rechten. Hoe kleiner de afstand ΔL wordt gekozen, des te kleiner is de afwijking van het werkelijke verloop van de hoogwaterlijn. Er dient altijd in stroomopwaartse richting gerekend te worden.

5.3.2 Gelimiteerde afvoer-berging

Bij een waterloop met een gelimiteerde afvoer wordt de toegestane afvoercapaciteit door de waterkwantiteitsbeheerder vastgesteld. Het van het verhard oppervlak afkomstige hemelwater kan deze hoeveelheid overschrijden, zodat water moet worden geborgen.

Voor het bepalen van de te bergen hoeveelheid water bij de verlangde overschrijdingskans wordt b.v. gebruik gemaakt van de regenkrommen van Braak (zie hiervoor het berekeningsvoorbeeld in bijlage C).

Waterkwantiteitsbeheerders dimensioneren hun waterlopen veelal op een zogenaamde "landelijke afvoer". De landelijke afvoer is een veronderstelde piekaanvoer van hemelwater, die grotendeels via het grondwater in de sloten tot afvoer komt. De landelijke afvoer kan van gebied tot gebied variëren maar ligt meestal tussen 0,5 en 2 l/s.ha (afhankelijk van grondgesteldheid, eventuele drainage enz.). Het hemelwater, dat op het verharde oppervlak valt, komt via het rioolstelsel echter versneld tot afvoer.

De waterkwantiteitsbeheerder kan eisen stellen aan:

- de maximaal te lozen hoeveelheid water;
- de maximale waterstand bij diverse overschrijdingskansen;
- de combinaties van een overschrijdingskans bij zomer- of wintertoestand.

De uit deze eisen volgende berging moet worden gevonden tussen de hoogwaterlijnen van de minimale afvoer en de toegestane afvoer. In de praktijk zal de slootinhoud tussen beide hoogwaterlijnen over het algemeen niet voldoende zijn.

Enerzijds kan de laatstgenoemde hoogwaterlijn kunstmatig omhoog worden gebracht d.m.v. stuwen, duikers enz., anderzijds kan het slootprofiel worden verruimd of kan een bergingsbassin worden aangelegd om de vereiste berging te verkrijgen.

De regenintensiteit van de, uit de regenkromme gevonden, maatgevende bui voor de benodigde berging zal in het algemeen belangrijk minder zijn dan de berekeningsintensiteit voor het rioolstelsel (100 of 167 l/s.ha). Door een geringere oploop van de hoogwaterlijn in het rioolstelsel zal het verhoogde lozingspeil in de watergang niet per definitie tot wateroverlast leiden; een controle-berekening is wenselijk.

5.4 Duikers

De berekening van duikers kan worden uitgevoerd met formules voor geheel en gedeeltelijk gevulde cirkelvormige leidingen, formules voor profielen met afwijkende doorsneden of met grafieken.

Het door een duiker veroorzaakte hoogteverschil in de hoogwaterlijn bestaat uit wrijvingsverliezen en vertragsverliezen (in- en uitreeverliezen). Gezien de meestal geringe lengte van duikers zal het aandeel van de wrijvingsverliezen gering zijn en bij lengten geringer dan 10 m bijna verwaarloosbaar. De vertragsverliezen zijn proefondervindelijk vastgesteld. Ze zijn een functie van de snelheidshoogte. Voor de bepaling van de verliescoëfficiënten bij diverse constructies (scherpe en afgeronde hoeken, getrapte en conische uitmonding enz.) wordt verwezen naar de desbetreffende literatuur.

5.5 Persleidingen

Persleidingen dienen voor de berekening te worden beschouwd als geheel gevulde cirkelvormige leidingen.

De stroomsnelheid in een persleiding moet liggen tussen 0,8 en 1,5 m/s.

In 5.2 werd uiteengezet dat voor rioelstelsels meestal kan worden volstaan met een hydraulische berekening waarbij vertragsverliezen, bochtverliezen, etc. tot uitdrukking worden gebracht in een aangepaste wandruwheid of wrijvingscoëfficiënt.

Een dergelijke schematisatie kan niet worden toegepast bij persleidingen. Een nauwkeurige berekening is daarbij noodzakelijk, onder meer i.v.m. de keuze van de toe te passen pompen.

In plaats van een aangepaste k-waarde waarin de invloed van bochtverliezen etc. is aangenomen, dient men dan uit te gaan van de werkelijke ruwheid van het materiaal en de nauwkeurige formules van Darcy-Weisbach en Colebrook (zie bijlage B, punt 2). De weerstand van bochten, knikken enz. wordt afzonderlijk berekend.

In de formule van Colebrook dient voor de wandruwheid (k-waarde) te worden ingevuld bij:

- buizen van beton : 0,5 mm;
- buizen van PVC : 0,05 mm;
- buizen van PE-HD : 0,05 mm.

De bocht- en knikverliezen zijn proefondervindelijke vastgesteld. Ze zijn een functie van de snelheidshoogte. Voor de bepaling van de verliescoëfficiënten bij diverse constructies (bochten, knikken, haakse en schuine T-aansluitingen enz.) wordt verwezen naar de literatuur.

Voor lange persleidingen wordt voor de bocht- en knikverliezen ook wel, als ervaringscijfer, 10% van de leidingweerstand in rekening gebracht.

Bij een snelheid beneden 0,8 m/s kan aanslibbing ontstaan. Voorts kan ter plaatse van de hoge punten in het lengteprofiel sneller vorming van luchtinsluitingen optreden. In beide gevallen neemt de weerstand toe, waardoor het stroomverbruik toeneemt en de capaciteit daalt.

Een snelheid boven de 1,5 m/s leidt tot hoge drukken in de leiding. Hierdoor neemt het stroomverbruik onevenredig toe en zullen de voorzieningen voor het opvangen van bochtkrachten omvangrijker worden.

In de leidingen in het gemaal worden meestal hogere snelheden (tussen 1 en 3 m/s) toegelaten. Hierdoor kan men beperken op de afmetingen van leidingen en appendages en op de grootte van het bouwkundig gedeelte van het rioolgemaal. Gezien de geringe lengten van de leidingen in het gemaal zal de totale weerstand slechts in geringe mate toenemen.

6 Keuze bouwstoffen

De keuze van de bouwstoffen moet worden afgestemd op de aan het object te stellen eisen met betrekking tot afmetingen, sterkte en duurzaamheid.

Aan de hand van de eigenschappen en de leveringsprogramma's van de bouwstoffen moet worden bepaald welke bouwstoffen in aanmerking komen.

De bouwstoffen moeten voldoen aan de hiervoor geldende normbladen en, voor zover mogelijk, geleverd worden onder KOMO-resp. KIWA-certificaat voorzien van een KOMO-keurmerk. De bouwstoffen die niet onder certificaat geleverd kunnen worden dienen door een keuringsinstituut te worden gekeurd. Indien er geen normbladen o.d. aanwezig zijn dienen leverings- en keuringseisen te worden opgesteld.

toepasbare bouwstoffen

Voor de onderdelen van de afvoerstelsels komen de navolgende bouwstoffen in aanmerking:

- goten : asfaltbeton of betonelementen;
- kolken en aansluitleidingen : onderbak van beton en inlaatstuk van gietijzer met draaibaar hol rooster of thermisch verzinkt vlak stalen rooster; aansluitleidingen van PVC;
- rioolbuizen : buizen van beton of PVC, incidenteel PE-HD;
- rioolputten : beton, metselwerk of kunststof met gietijzeren putrand met deksel;
- persleidingbuizen : PVC en PE-HD, incidenteel beton.

PVC = ongeplasticeerd polyvinylchloride

PE-HD = polyetheen - hoge dichtheid.

Indien meerdere bouwstoffen in aanmerking komen, dient de keuze te worden bepaald aan de hand van, voor zover van toepassing, de prijs (inclusief eventuele financiële afwegingen met betrekking tot het onderhoud), de uniformiteit en de levertijd. Onder prijs wordt hier verstaan de kosten van het leveren en leggen c.q. plaatsen.

De middellijnen van de buizen volgen uit de berekening zoals in 5 is aangegeven. Bij de berekening dient tevens uit te worden gegaan van de standaardafmetingen.

De duurzaamheid van de buizen is afhankelijk van een juist gekozen sterkte en weerstand tegen aantasting. De benodigde sterkte van de buizen, afhankelijk van diepteligging leiding en druk in de leiding, wordt bepaald als in 7 is aangegeven. De aantasting kan plaatsvinden van binnenuit zoals in 2.3 en 11.4 is aangegeven, doch kan ook aan de buitenzijde ontstaan als gevolg van de agressiviteit van grond en grondwater (zie NPR 3218, hoofdstuk 5.4).

Bij de keuze dient met het oog op de levensduur de kwaliteit van het de bouwstof voorop te staan.

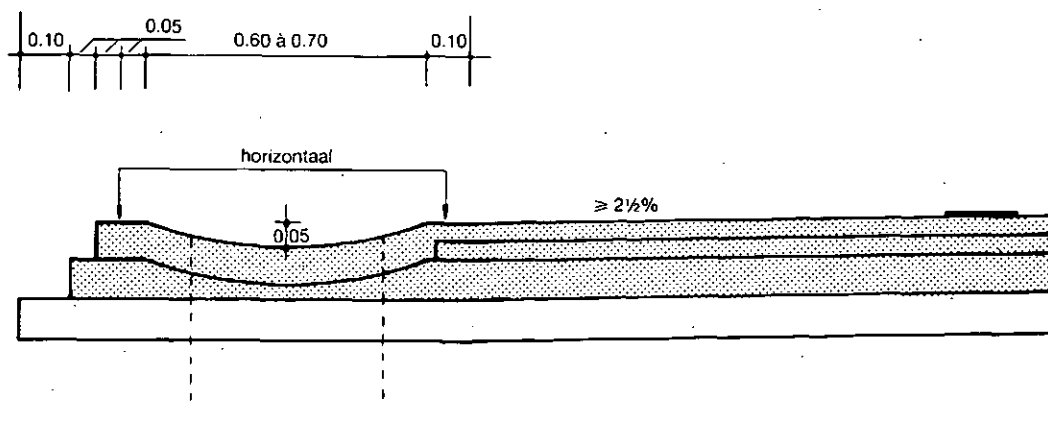
Deze kwaliteit betreft niet alleen de bouwstof op zich, maar ook de dichtheid van de verbindingen. Ondichtheid leidt tot ontgroning (waardoor verzakking en dichtslibben van de leiding), tot extra af te voeren hoeveelheden bij bemalen stelsels en tot verontreiniging van de bodem bij vuilwaterstelsels, bijv. van brandstofverkooppunten.

De niet genoemde bouwstoffen zoals gres, staal, glasvezelversterkte kunststof enz. komen in verband met eigenschappen en/of kostprijs in het algemeen niet in aanmerking. Asbestcement wordt uit milieuhygiënische overwegingen niet meer toegepast. Buizen van gegolfd plaatstaal kunnen voor rioolbuizen groter dan \varnothing 1,00 m ook in aanmerking komen. Bij toepassing hiervan wordt verwezen naar 11.1.

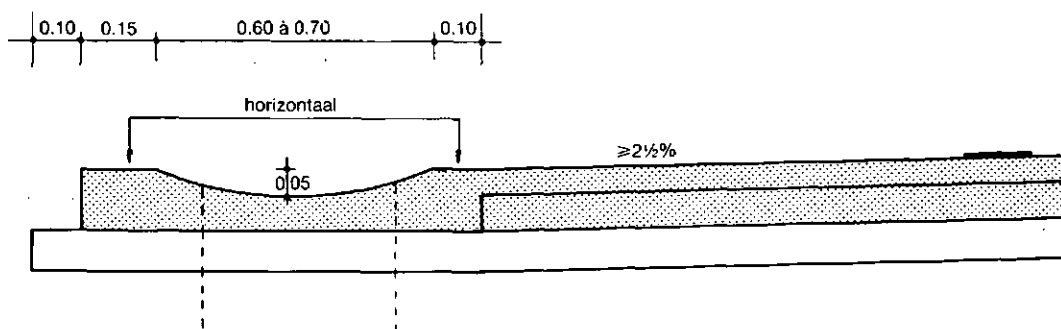
6.1 Goten

toepassingsgebied

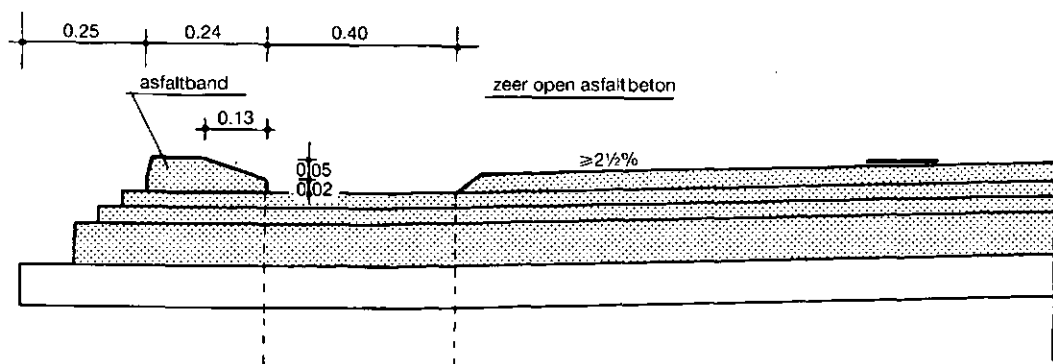
Goten dienen te worden toegepast daar waar een hemelwaterafvoerstelsel noodzakelijk is. Zij vormen met de kolken (zie 6.2) het opvanggedeelte, gelegen aan de zijkant van de verharding.



Figuur 14: Constructie asfaltbetongoot.



Figuur 15: Constructie vereenvoudigde asfaltbetongoot.



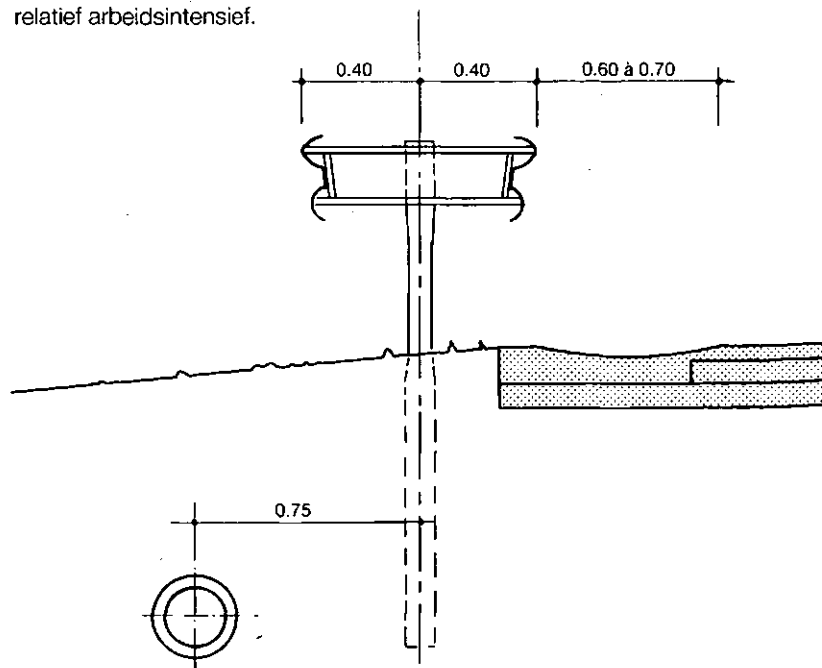
Figuur 16: Constructie bij toepassing van zeer open asfaltbeton.

- eisen** De goten dienen in verband met de veiligheid voor het verkeer (kantelgevaar) te voldoen aan:
- diepte ten opzichte van aanliggende verharding niet groter dan 0,07 m;
 - zijdelingse helling bij voorkeur niet groter dan 1:4.
- vormgeving** De vormgeving dient er op te zijn gericht dat:
- een zo groot mogelijke waterafvoer wordt verkregen (voorkomen plasvorming bij hevige regenbui);
 - de aanleg zo mogelijk machinaal kan geschieden (vanwege de kosten);
 - de goot zo mogelijk machinaal kan worden gereinigd;
 - de goot gemakkelijk aanpasbaar is bij het aanbrengen van nieuwe asfaltbetonlagen en bij reconstructie;
 - bij langshellingen, afhankelijk van het aanbod van water, wordt voorkomen dat water voorbij de kolken stroomt door bijv. het aanbrengen van een opvangconstructie (zie figuur 20).
- constructie** Waar mogelijk dienen open goten van asfaltbeton of van betonelementen te worden aangebracht. Incidenteel kunnen ook straatstenen en tegels worden toegepast.
- normen** In bijlage D zijn de normen vermeld van de bij de open goot van betonelementen toe te passen bouwstoffen.
- voorbeelden** In de figuren 14 t/m 20 zijn een aantal voorbeelden van gootconstructies weergegeven. Ten aanzien van figuur 20 zij hier nog bij vermeld dat bij aanwezigheid van een zogenaamde flexibele geleiderailconstructie rekening moet worden gehouden met de uitbuigmogelijkheid van de geleiderail.

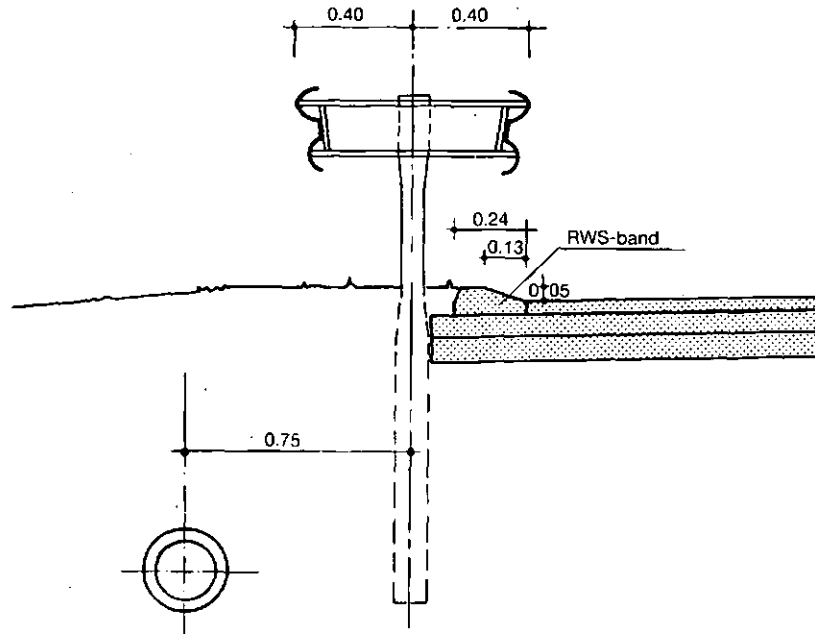
De open goten van asfaltbeton verdienen de voorkeur in verband met de machinale aanleg en het gemakkelijke onderhoud. Dit geldt eveneens voor goten van cementbeton, indien deze bij de aanleg van een betonweg gelijktijdig machinaal worden meegenomen. Overige gootconstructies zijn als gevolg van "veel arbeid" duur in aanleg en kunnen mogelijk de continuïteit van andere werkzaamheden verstoren.

Bovendien kunnen als gevolg van zettingen ongelijkheden in de goot ontstaan of onderdelen boven de naastliggende verharding uitsteken.

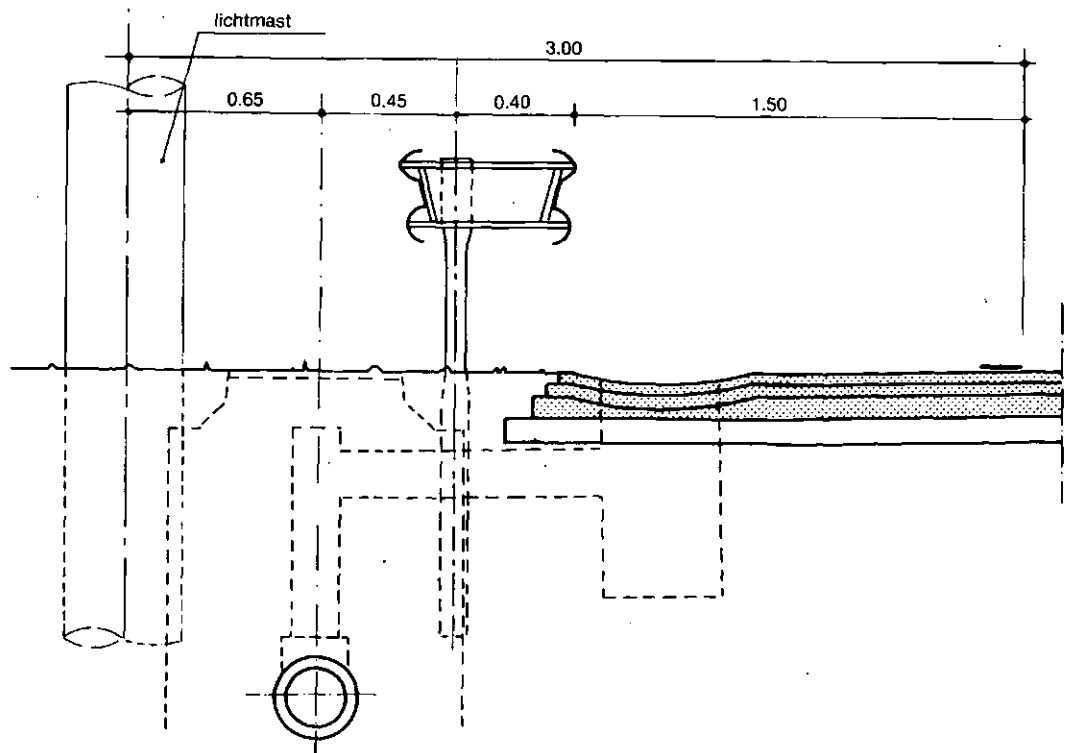
Toepassing van verholen goten wordt ontraden gezien het onderhoudsaspect: speciale apparatuur en relatief arbeidsintensief.



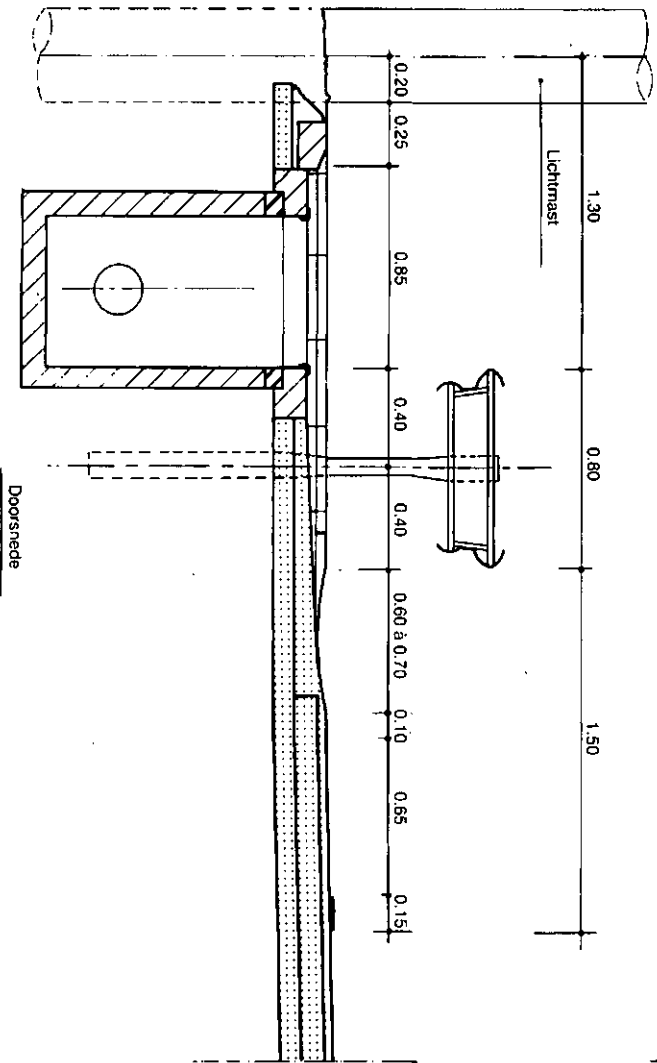
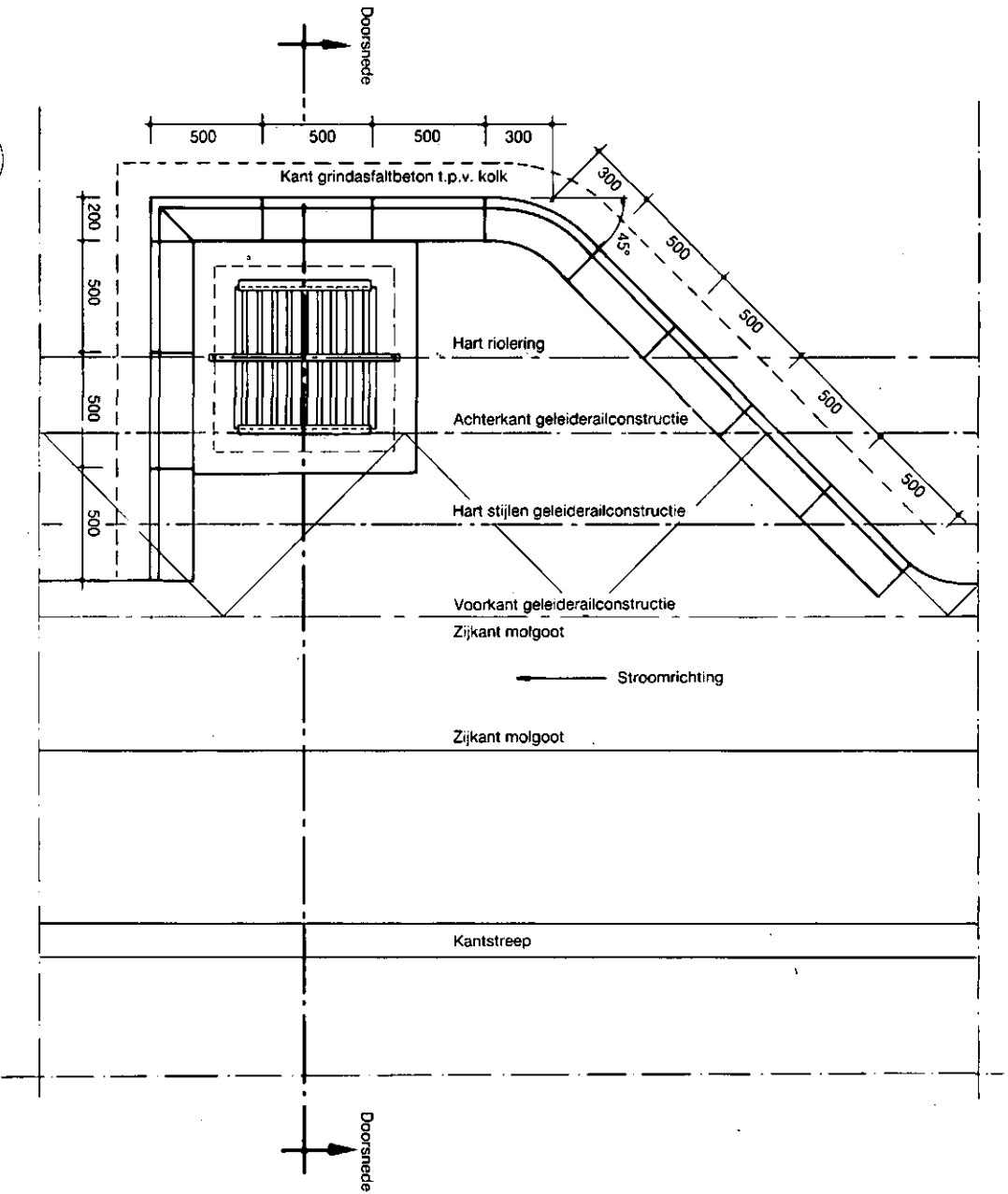
Figuur 17: Situering asfaltbetongoot ter plaatse van zijberm.



Figuur 18: Situering goot door middel van kantopsluiting ter plaatse van zijberm.



Figuur 19: Situering riool in middenberm.



Figuur 20: Opvangconstructie in langshelling.

6.2 Kolken en aansluitleidingen

toepassingsgebied Kolken dienen te worden toegepast voor het opvangen van het via de goten (zie 6.1) toestromend hemelwater en het afvoeren hiervan via aansluitleidingen naar de bermsloten of riolering.

eisen De kolken moeten zijn: duurzaam, bestand tegen verkeersbelasting en krachten veroorzaakt door een kolkenzuiger, waterdicht en voldoende waterbergend vermogen hebben. Voor de buizen ten behoeve van de aansluitleidingen van PVC zie 6.3.2 en van PE-HD zie 6.3.3.

kolktype De kolken dienen te worden uitgevoerd als straatkolk, trottoirkolk of gecombineerde straat-trottoirkolk.

Bij hellingen moet worden voorkomen dat water voorbij de kolken stroomt (zie figuur 20).

Een speciale toepassing bij kunstwerken zijn de roostergoten, welke haaks op de rijrichting worden aangebracht (zie 11.2 figuur 22).

De kolken uitvoeren met vierkante of ronde onderbak van beton en met los inlaatstuk.

Het toepassen van onderbakken van kunststof wordt in verband met de verkeersbelastingen ontraden.

In de wand van de onderbak een ingebouwd inlaatstuk, met inwendige of uitwendige flexibele aansluiting, opnemen waarop de aansluitleidingen worden aangesloten.

Daar waar het af te voeren hemelwater agressieve stoffen kan bevatten de onderbak zonodig inwendig voorzien van een coating.

aansluitleiding De aansluitleidingen maken van PVC-buizen met een uitwendige middellijn van 125 mm. Voor speciale kolken met een grote opvang en voor roostergoten de aansluitleidingen maken van PVC-buizen met een uitwendige middellijn van 160 mm.

Aanbevolen wordt PVC-buis klasse 34 toe te passen. Daar waar het af te voeren hemelwater agressieve stoffen kan bevatten de aansluitleiding uitvoeren in PE-HD.

normen In bijlage D zijn de normen voor kolken vermeld. Een aantal oude normen wordt nog weinig toegepast als gevolg van de aangebrachte wijzigingen in de vormgeving en de gebruikte bouwstoffen.

NPR 3218 Voor de kolken en aansluitleidingen wordt ook verwezen naar NPR 3218, hoofdstukken 16 en 17.

Met betrekking tot vormgeving en bouwstoffen zijn in afwijking van de normen talrijke andere modellen op de markt gebracht. Uit oogpunt van rationeel wegbeheer verdient het per beheersgebied aanbeveling te komen tot een uniform model per type kolk.

Het is noodzakelijk om kolken met een los inlaatstuk toe te passen. Losse inlaatstukken kunnen na het aanbrengen van de asfaltbetonlagen worden geplaatst en kunnen waar nodig opnieuw op hoogte worden gesteld. Bij grote hoogteverschillen kan de onderbak worden opgemetseld of kunnen, bij voldoende hoogteverschil, geprefabriceerde tussenstukken worden toegepast.

Het gedeelte van de onderbak beneden het uitlaatstuk heeft tot doel de bezinkbare stoffen op te vangen en tijdelijk te bergen. Waar dit, gezien de plaatselijke situatie, wenselijk wordt geacht kunnen kolken met een diepere onderbak worden toegepast.

Hoewel bovengenoemde constructie uitgangspunt is kunnen, bijv. bij moeilijke bereikbaarheid van de kolken voor onderhoud, ook kolken met een stroomprofiel worden toegepast, zodat hier geen bezinkbare stoffen achterblijven maar deze bijv. in de rioolputten (zie 6.4) worden opgevangen.

6.3 Rioolbuizen

6.3.1 Betonbuizen

toepassingsgebied	Buizen van beton kunnen worden toegepast voor de afvoer van hemel- en vuilwater en zijn toepasbaar in gemengde en gescheiden stelsels, voor mantelbuizen en voor persleidingen.
eisen	De buizen moeten voldoen aan de aan het werk te stellen eisen ten aanzien van sterkte en duurzaamheid. De buizen vervaardigen met hoogovencement.
constructie	De riolen maken van mof-spiebuizen lang ca. 2 m en verbinden door middel van een rubberringverbinding (rol- of glijverbinding). Het type rubber van de ring moet zijn styreenbutadieenrubber (SBR).
boveninlaat	De buizen waar nodig voor het aansluiten van de kolkaansluitleidingen aan de bovenzijde voorzien van een inlaatconstructie. De inlaatconstructie moet zijn een instortmof van PVC met stootrand, geschikt voor de flexibele aansluiting van PVC-buis uitwendig \varnothing 125 mm resp. uitwendig \varnothing 160 mm. Daar waar, als gevolg van de diepteligging van het riool, de aansluitleidingen niet rechtstreeks met behulp van bocht- of spruitstukken op de inlaatconstructie kunnen worden aangesloten standpijpen van PVC plaatsen. De middellijn van de standpijp moet overeenkomstig de middellijn van de inlaatconstructie zijn.
normen	In bijlage D zijn de normen voor buizen van beton vermeld.
voorbeelden	In enkele van de in 6.1 gegeven voorbeelden van de gootconstructies is ook de plaats van het riool aangegeven.
NPR 3218	Voor de fundering wordt verwezen naar NPR 3218, hoofdstuk 7. Voor de verbindingen, inlaatbuizen, pasbuizen en standpijpen wordt ook verwezen naar NPR 3218, hoofdstukken 11 en 12.
type	Betonbuizen worden veelvuldig toegepast. Ze zijn leverbaar in ongewapend en gewapend beton, eventueel in voorgespannen beton, in gewapend beton met plaatstalen kern, in staalvezelbeton e.d. Diverse hulpstukken zijn leverbaar.
eigenschappen	De buizen bezitten een grote draagkracht en zijn tot grote middellijn verkrijgbaar. Ongewapende buizen: \varnothing 250 – \varnothing 1.500 mm. Gewapende buizen: \varnothing 300 – \varnothing 2.200 mm. Voorgespannen buizen: \varnothing 500 – \varnothing 2.000 mm. Gewapende buizen met plaatstalen kern: \varnothing 300 – \varnothing 3.200 mm. De riolen worden als regel uitgevoerd met buizen van ongewapend of gewapend beton, waarbij in het merendeel van de gevallen de buizen vanaf \varnothing 700 mm worden gewapend. De lengte van de buis kan afhankelijk van de leverancier ook 2,40 m of 3,00 m zijn. Bij persleidingen komen de buizen van voorgespannen beton (lengte 6 m) meestal in aanmerking en bij mantelbuizen de buizen van gewapend beton met plaatstalen kern (lengten van 3 tot 6 m). Bij toepassing van laatstgenoemde buizen met lasverbinding dient, in verband met het aan de binnenzijde afwerken van de voeg, een minimum middellijn van 600 mm te worden aangehouden.
verbinding	Het type rubber van de ring is gewoonlijk styreenbutadieen. Indien sterk vervuild (agressief) hemelwater wordt verwacht, kan overwogen worden een ander type rubber voor de ring, bijv. chloropreen (neopreen) toe te passen.
hoekverdraaiing	Beton is niet vervormbaar, doch bij de verbindingen is enige hoekverdraaiing mogelijk. De grootte hiervan is afhankelijk van de buismiddellijn en varieert van ca. 3,5° voor de kleine middellijnen tot ca. 2° voor de grote middellijnen. Deze hoekverdraaiingen laten derhalve enige ongelijkmatige zettingen in de ondergrond toe. Zijn de te verwachten zettingsverschillen te groot en niet meer op te

vangen met flexibele verbindingstukken, kortere buislengten, pendelconstructies o.i.d. en komen geen andere lichtere materialen in aanmerking, dan dient de betonleiding te worden gefundeerd op palen.

Van de hoekverdraaiing kan ook gebruik worden gemaakt om flauwe bochten te maken zonder toepassing van speciale hulpstukken. De hoekverdraaiing wordt dan tot maximaal 1° toegepast. Hierdoor zal uiteraard de mogelijkheid enige zetting te volgen sterk worden beperkt.

bescherming Het beton is bestand tegen thermische aantasting, doch gevoelig voor chemische inwerking. Bescherming is mogelijk door het aanbrengen van een coating. Zowel uitwendig als inwendig kan dit zijn een produkt op steenkoolteerpekbasis, terwijl inwendig, afhankelijk van de agressiviteit van het door te voeren water, de coating ook kan bestaan uit (teer)epoxy of een PVC-lining. PVC-lining is een fabriekmatige bekleding van de betonbuizen aan de binnenzijde met een dunne PVC-laag, die met behulp van een ankervormige profilering aan de betonwand is vastgemaakt. Wanneer en hoe te beschermen is sterk afhankelijk van wat er afgevoerd moet worden resp. van wat er zich in de grond en in het grondwater bevindt. Hierbij is niet alleen van belang welke agressieve stoffen er voorkomen, doch ook de concentraties hiervan en de combinaties van verschillende agressieve stoffen.

6.3.2 PVC-buizen

toepassingsgebied Buizen van PVC zijn toepasbaar voor de afvoer van hemel- en (in beperkte mate) vuilwater, zowel in vrijvvalleidingen als in persleidingen.

eisen De buizen moeten voldoen aan de aan het werk te stellen eisen ten aanzien van sterkte en duurzaamheid en voldoende weerstand tegen vervorming bezitten.

constructie De buizen verbinden door middel van dubbele moffen met stootrand en gefixeerde rubbermanchet. Het lijmen van twee buiseinden is niet toegestaan. De rubberafdichtingselementen moeten zijn vervaardigd van styreenbutadieenrubber (SBR). Bij doorschuiven in mantelbuizen en bij ligging onder een grote hellingshoek, dienen trekvaste dubbele moffen te worden toegepast.

boveninlaat Voor het aansluiten van de kolkaansluitleidingen, waar nodig, de buizen aan de bovenzijde voorzien van een keilinlaat of in de leiding PVC-spruitstukken opnemen. De middellijn van de inlaatconstructie moet overeenkomen met de middellijn van de aansluitleiding. Daar waar als gevolg van de diepteligging van het riool de aansluitleidingen niet rechtstreeks met behulp van bocht- en spruitstukken op de keilinlaat of op het spruitstuk kunnen worden aangesloten standpijpen van PVC plaatsen. De middellijn van de standpijp moet overeenkomen met de middellijn van de inlaatconstructie.

normen In bijlage D zijn de normen voor buizen van PVC vermeld.

NPR 3218 Voor de verbindingen, inlaatbuizen, spruitstukken en standpijpen wordt ook verwezen naar NPR 3218, hoofdstukken 11 en 12.

In de kleine middellijnen tot en met 300 mm uitwendig worden ze veelvuldig toegepast. Daarboven vindt, gezien de hogere prijs ten opzichte van betonbuizen, toepassing slechts plaats in geval van te verwachten agressiviteit.

type Voor de vrijvvalleiding zijn de buizen leverbaar in de klassen 41 en 34. Voor de persleidingen zijn de buizen leverbaar in de klassen 41, 34, 26 en 21. Het klassegetal geeft de verhouding uitwendige middellijn tot wanddikte weer b.v. Ø 315 mm klasse 34 geeft een wanddikte van $315 : 34 = 9,2$ mm. Naarmate het klasse getal kleiner is, is de wanddikte groter.

Ze zijn leverbaar in volwandige uitvoering en in niet-volwandige uitvoering, inclusief de benodigde hulpstukken. Bij de niet-volwandige uitvoering zijn, ter besparing van materiaal en beperking van het gewicht, in de lengterichting in de wand een groot aantal doorlopende kanaaltjes aanwezig. De buizen zijn verkrijgbaar tot een uitwendige middellijn van 630 mm en in lengten tot 10 m.

eigenschappen PVC is licht van gewicht en heeft een beperkte chemische bestendigheid. PVC wordt aangetast door aromatische koolwaterstoffen en geconcentreerde sterk oxyderende stoffen. Als gevolg van de elasticiteit is PVC gevoelig voor vervormingen, wat in sommige gevallen als een nadeel kan worden gezien. De toelaatbare vervorming is 5% (zie ook 7.3).

De mechanische eigenschappen zijn sterk afhankelijk van temperatuur en van ouderdom. De toelaatbare treksterkte neemt met de tijd af.

Plaatselijke spanningsconcentratie is niet acceptabel voor PVC.

verbinding Het type rubber van de ring is gewoonlijk styreenbutadien. Indien sterk vervuild (agressief) hemelwater wordt verwacht, kan worden overwogen een ander type rubber, bijv. chloropreen (neopreen) voor de ring toe te passen.

hoekverdraaiing De rubberringverbinding laat geen hoekverdraaiing toe. Een eventuele correctie in de lengterichting dient te worden aangebracht door het buigen van de buis, zoals dit is aangegeven in NPR 3218, hoofdstuk 11.1.2. of door het toepassen van dubbele moffen en hulpstukken voor een flexibele verbinding.

6.3.3 PE-HD buizen

toepassingsgebied Buizen van PE-HD zijn toepasbaar voor de afvoer van hemel- en vuilwater, zowel in vrijvervalleidingen als in persleidingen.

eisen De buizen moeten voldoen aan de aan het werk te stellen eisen ten aanzien van sterkte en duurzaamheid. De buizen moeten voldoende weerstand tegen vervorming bezitten.

constructie De buizen en hulpstukken verbinden door middel van een stuiklas of een elektrolas, waarbij gebruik moet worden gemaakt van daarvoor bestemde apparatuur.

boveninlaat Voor het aansluiten van de kolkaansluitleidingen, waar nodig in de leiding PE-spruitstukken of gietijzeren hulpstukken opnemen.
De middellijn van de spruit moet overeenkomen met de middellijn van de aansluitleiding.
 De aansluitleiding van PE kan door middel van een las aangesloten worden op een PE-spruitstuk zonder flens of door speciale overgangsstukken op de flens van een gietijzeren hulpstuk.
 Waar nodig, zoals aangegeven in 6.3.2 een standpijp plaatsen.

normen In bijlage D zijn de normen voor buizen van PE-HD vermeld. In Nederland zijn de buizen genormaliseerd tot en met een middellijn van 800 mm.

NPR 3218 Voor de verbindingen, passtukken en standpijpen wordt ook verwezen naar NPR 3218, hoofdstukken 11 en 12.

Deze buizen worden, gezien de prijs, in afvoerstelsels onder vrij verval slechts in bijzondere gevallen toegepast, zoals in zettingsgevoelige grond en bij gevaar van aantasting. Toepassing blijft veelal beperkt tot persleidingen omdat hierbij de lagere aanlegkosten ten opzichte van de aanlegkosten bij gebruik van andere materialen van grote invloed zijn op de totaalprijs.

type De buizen zijn leverbaar in de drukklassen 0,4 MPa, 0,6 MPa en 1,0 MPa. De wanddikten hierbij zijn afhankelijk van de toe te laten spanning σ (2,5 N/mm², 3,2 N/mm² of 5 N/mm²) in het materiaal (type polyetheen).

De buizen zijn verkrijgbaar tot in grote middellijnen en in diverse lengten. Tot een middellijn van 160 mm kunnen ze op haspels worden geleverd.

Diverse hulpstukken, zij het soms van een andere bouwstof (bijv. gietijzer), zijn leverbaar.

Voor bijzondere gevallen, waarbij een grote ringstijfheid vereist wordt, zijn buizen in niet-volwandige uitvoering, al dan niet aan de buitenzijde geprofileerd, verkrijgbaar.

eigenschappen	<p>De buizen zijn licht in gewicht. Omdat de volumieke massa van polyetheen kleiner is dan 1, kan gevaar van opdrijven bestaan.</p> <p>PE-HD heeft een goede chemische bestendigheid, welke hoger is dan die van PVC. Het heeft een grote elasticiteit en is hierdoor gevoelig voor vervormingen.</p> <p>De mechanische eigenschappen zijn sterk afhankelijk van temperatuur, spanning en ouderdom.</p> <p>De toelaatbare treksterkte neemt met de tijd af. Plaatselijke spanningsconcentratie is niet acceptabel voor PE-HD.</p>
verbinding	De elektrolasmoffen worden in het algemeen toegepast voor buizen met een middellijn tot en met 200 mm.
hoekverdraaiing	Een eventuele correctie in de richting dient te worden aangebracht door het buigen van de buis. Inzake de toelaatbare buiging dient de opgave van de leverancier te worden gevolgd.

6.4 Rioolputten – Putafdekkingen

toepassingsgebied	<p>Rioolputten moeten worden toegepast:</p> <ol style="list-style-type: none"> om de riolen toegankelijk te maken zowel voor inspectie als voor onderhoud; om riolen bij verschil in middellijn, bouwstoffen en hoogteligging te verbinden; voor richtingsverandering en kruising of aansluiting op andere riolen. <p>In afwijking van het gestelde in NPR 3218 hoofdstuk 13 wordt voor de onderlinge afstand tussen de rioolputten in het algemene 80 tot 100 m aangehouden.</p>
eisen	<p>De inwendige afmetingen van de putten moeten voldoende groot zijn voor de aansluiting van de riolen en de afvoerleiding, alsmede ten behoeve van inspectie en onderhoud.</p> <p>De putten moeten zijn voorzien van een stroomprofiel. De putten moeten voldoen aan de aan het werk te stellen eisen ten aanzien van sterkte en duurzaamheid.</p>
constructie	<p>De putten uitvoeren als geprefabriceerde putten van beton of van kunststof. De putten van beton vervaardigen met hoogovencement. De putten van kunststof vervaardigen van polyetheen of met glasvezelversterkt polyester.</p> <p>De putten aan de bovenzijde over zo kort mogelijke hoogte versmallen en afdekken met een gietijzeren deksel opgelegd in een gietijzeren rand met vervangbare rubberrand oplegging.</p> <p>Voor afwijkende constructies en waar dit nodig wordt geacht de putten in het werk vervaardigen van beton of metselwerk.</p>
normen	In bijlage D zijn de normen voor putten van beton vermeld. Voor de putten van GVP (glasvezelversterkt polyester) kan de beoordelingsrichtlijn BRL 2017/01 van KOMO worden gehanteerd.
NPR 3218	Voor de putten en de putafdekkingen wordt ook verwezen naar NPR 3218, hoofdstuk 13 en voor rioolputten met een bijzondere constructie (overstortputten, kruisingsputten e.d.) naar hoofdstuk 15.

Met het oog op de toegankelijkheid verdient het aanbeveling voor de inwendige maten uit te gaan van ten minste 0,8 m bij putten die ondieper zijn dan 2 m en van ten minste 0,9 m bij putten die dieper zijn dan 2 m.

Het stroomprofiel heeft tot doel het water in de put te geleiden en daardoor vuilafzetting en werveling (vrijkomen van gassen bij vuilwater) te voorkomen.

7 Sterkteberekening buizen

7.1 Algemeen

- ontwerp factoren** Bij de belastingen die door de buizen moeten worden opgenomen dient onder andere met de volgende factoren rekening te worden gehouden:
- grondbelasting;
 - gronddekking;
 - verkeersbelasting;
 - eigen gewicht van de buis;
 - gewicht van de buisvulling;
 - temperatuurbelasting;
 - grondparameters van ongeroerde en aanvullingsgrond;
 - opleghoek;
 - de wijze van uitvoering, zoals het voorbereiden van de grond onder de buis en het aanbrengen van een fundering; het aanvullen van de sleuf en het verdichten van de grond naast en boven de buis;
 - grondwaterniveau;
 - vorm van de sleuf (breed of smal);
 - het eventueel inklinken van de grond;
 - de situering van de leiding onder ophoging.

noodzaak berekening In 7.2, 7.3 en 7.4 wordt aangegeven wanneer voor de genoemde buissoort een sterkteberekening moet worden uitgevoerd. De aangegeven grenzen waarboven buizen op sterkte moeten worden berekend berusten op de ervaringen verkregen door veelvuldig uitgevoerde berekeningen.

In het "Rapport hoogspanningslijnen, pijpleidingen en kabels in en nabij Rijkswegen" d.d. september 1981 van de werkgroep HOBU zijn ook aanwijzingen gegeven met betrekking tot de uitgangspunten voor de berekening, toelaatbare materiaalspanningen en sterkte-eisen voor koppelingen.

pijpleidingcode Bij kruisingen van dijken, waterlopen e.d. kan door de beheerder worden verlangd dat de berekening wordt uitgevoerd volgens de richtlijnen, zoals aangegeven in de Pijpleidingcode 1972 (laatste uitgave). In het overgrote deel van de gevallen kan worden volstaan met de hierin genoemde "vereenvoudigde sterkteberekening".

Bij buizen wordt in het algemeen gesproken van starre en van flexibele buizen. Beide categorieën gaan in wezen geleidelijk in elkaar over. De betonbuis bijvoorbeeld, gezien als een "starre buis", is niet geheel star: er treedt altijd enige deformatie op.

Het draagvermogen van de buis is niet alleen afhankelijk van de buissoort en de afmetingen van de buis, maar ook van de grondomstandigheden (grondsoort, vochtigheid van de grond, mate van verdichting).

De wisselwerking tussen buis en grond (verdeling bovenbelasting en zijbelasting op de buis) wordt mede bepaald door de verhouding van de stijfheid van de buis en de stijfheid van de grond. In het algemeen zal de starre buis meer en ongelijkmatiger worden belast dan de flexibele buis.

De belasting op de buis wordt op allerlei manieren berekend en berust meestal op empirische formules, verkregen uit ervaringen. Voor de berekening van de verticale gronddrukken op leidingen waren tot voor kort de meest bekende methoden die van Marston-Spangler, Guerrin-Daniel, Wetzorke, Voellmij, Leonhardt en Roske. Men onderscheidt hierbij veelal de ligging in smalle sleuven en de ligging in brede sleuven. In de praktijk is meestal te rekenen met de ligging in brede sleuven. Voor de verkeersbelasting wordt in het algemeen gerekend met de formule van Boussinesq.

De resultaten van deze verschillende methoden kunnen, gezien de verschillende opvattingen en de verschillen in het bepalen van de factoren in de formules, nogal uiteenlopen. In de meeste gevallen werd en wordt de berekening voor buizen, op staal gefundeerd, uitgevoerd volgens Roske, zoals aangegeven in zijn boek "Betonrohre nach DIN 4032. Belastung und Tragfähigkeit". De met de methode Roske gevonden belastingen liggen iets hoger dan die bij andere methoden.

Hoewel bovengenoemd systeem uitgangspunt is kan daarnaast ook worden gedacht aan:

- a. een systeem met stroomprofiel in kolken en zandvang in putten (bijv. bij moeilijke bereikbaarheid van de kolken voor onderhoud);
- b. een systeem met stroomprofiel zowel in kolken als in putten.

De uitvoering met geprefabriceerde putten verdient met het oog op de kosten en de snelheid in uitvoering de voorkeur boven de in het werk gemaakte putten.

type De putten en de putafdekkingen zijn in diverse uitvoeringen en bouwstoffen verkrijgbaar. Gezien de sterkte en de kosten worden voor het merendeel de geprefabriceerde putten van beton toegepast. Vanwege de slijtvastheid, het gewicht en het geringe onderhoud vindt de gietijzeren deksel voor zwaar verkeer met gietijzeren rand voorzien van een betonvoet ruime toepassing. Bij in verharding gelegen putten kneveldeksels toepassen om uitzuigen ten gevolge van rijwind te voorkomen.

bescherming Voor de putten van beton geldt ten aanzien van de bescherming tegen aantasting het gestelde in 6.3.2 voor betonbuizen.

Uit oogpunt van rationeel wegbeheer verdient het aanbeveling te komen tot een uniform model. Daar waar de draagkracht van de grond gering is en in geval van sterk agressief vuil water komen de putten van kunststof in aanmerking. Bij toepassing hiervan dienen deze putten buiten de wegverharding te worden geplaatst om rechtstreekse belasting door het verkeer op de putten te voorkomen.

6.5 Persleidingbuizen

PVC Voor de buizen van PVC geldt het gestelde in 6.3.2. Daar waar axiale krachten moeten worden opgevangen dienen trekvaste dubbele moffen te worden toegepast (bijv. bij bochten, zinkers, aftakkingen, aan weerszijden van afsluiters en in mantelbuizen).

PE-HD Voor de buizen van PE-HD geldt het gestelde in 6.3.3.

beton Voor een persleiding van betonbuizen komen in aanmerking de buizen van gewapend beton, van staalvezelbeton, van voorgespannen beton en van gewapend beton met plaatstalen kern. De keuze dient te worden bepaald aan de hand van de optredende inwendige druk (ook ten aanzien van de dichtheid van de verbindingen) en de kostprijs.

normen In bijlage D zijn de normen van de buizen van beton vermeld.

NPR 3218 Voor de rubberringverbindingen en de gelaste verbindingen wordt verwezen naar NPR 3218, hoofdstuk 11.

In verband met de bij de uitvoering optredende onvermijdelijke onzekerheden ten aanzien van de bij de berekening gehanteerde waarden van de grondparameters, en omdat voldoende veiligheid gewenst is, verdient de methode van Roske voorshands de voorkeur.

Omdat de belastingen niet altijd even exact kunnen worden bepaald en in het werk van plaats tot plaats kunnen verschillen, verschijnen er periodiek publicaties inzake het berekenen van de buizen om tot een verder uitdiepen van de theorie te komen.

Ook door de leveranciers van de diverse buissoorten worden bepaalde berekeningsmethoden gevolgd en gepubliceerd. Voor wat betreft de betonbuizen is in 1985 het CUR VB-rapport 122-"Buizen in de grond, berekening van ongewapende en gewapende betonnen buizen" verschenen. De in dit rapport beschreven belastingtheorie kan ook worden gebruikt voor het bepalen van de belasting op de meer flexibele buizen. Hierbij speelt dan de verdeling van de belasting om de buisomtrek een grotere rol en is de flexibiliteit en de stabiliteit van de bouwstof van belang (ovalisering van de buis).

Gezien de complexiteit en het specialistische karakter van de berekeningen zijn in deze richtlijnen geen voorbeelden van buisberekeningen opgenomen. Hiervoor wordt verwezen naar de in dit hoofdstuk genoemde literatuur. Ook zijn er computer-programma's voor de berekening van buizen van de diverse buissoorten.

Uit de berekening dient te blijken dat de toelaatbare materiaalspanning niet wordt overschreden en er geen te grote vervorming op zal treden.

Het berekenen van buizen blijft overigens een kwestie van inzicht en ervaring.

7.2 Buizen van beton

noodzaak berekening Voor buizen tot \varnothing 700 mm (inw. middellijn) kan gebruik worden gemaakt van mof-spiebuizen van ongewapend beton.

Voor buizen van \varnothing 700 mm en groter is een berekening noodzakelijk.

Buizen gelegen onder de verharding van hoofdrijbanen en verbindingswegen, dienen te allen tijde berekend te worden op sterkte. Uit de berekening blijkt of, en zo ja hoe, de buis gewapend moet worden.

berekening Voor de berekening van grond- en verkeersbelasting kan worden uitgegaan van de methode Roske, waarbij de r_{sd} -factor (zettingsdoorbuiging) niet lager mag zijn dan 0,5 en de a-factor (opleggingsfactor, overeenkomend met een hoek van 60°), niet lager dan 0,93.

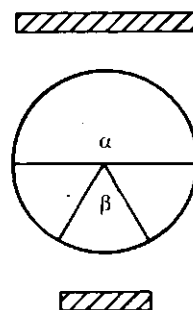
Voor de berekening van de momenten in de buiswand kan worden uitgegaan van de formule:

$$M = \gamma Q D$$

Q = belasting per m' buis.

D = middellijn buis gemeten van hart tot hart buis wand.

γ = coëfficiënt, afhankelijk van de plaats in de buisdoorsnede en de hoeken α (belastinghoek, te stellen op 180°) en β (ondersteuningshoek, te stellen op 60°).



De waarde van de coëfficiënt γ kan worden ontleend aan de door Gelok opgestelde grafieken. De buigtrekspanning in de wand kan worden bepaald met de formule $\sigma = M / W$.

M = moment in de buiswand.

W = weerstandsmoment in de buiswand.

Voor de berekening van buizen van gewapend beton met plaatstalen kern en van buizen van voorgespannen beton dient de sterkteberekening voorshands nog te worden getoetst aan de VB '84.

persleiding Bij een persleiding of bij doorvoer van agressief water kan het aanbeveling verdienen de watervoerende buis in een mantelbuis van staal of van gewapend beton met plaatstalen kern te leggen, al dan niet met lekwaterverklikking. In dat geval dient de mantelbuis op sterkte te worden berekend.

De draagkracht van de buizen van ongewapend beton is hoger dan met de berekening volgens de voorschriften beton (VB '84 -een wijziging is in voorbereiding) mag worden aangehouden. Bij een berekening volgens de VB '84 zouden vrijwel in alle gevallen buizen van gewapend beton moeten worden toegepast.

In de praktijk is gebleken dat in normale gevallen tot een middellijn van 700 mm een buis van ongewapend beton kan worden toegepast. Uit de berekening hierbij volgens de bovengenoemde methode blijkt dat de toelaatbare buigtrekspanning gesteld dient te worden op 4 N/mm^2 .

In het in 7.1 genoemde CUR-rapport is uitgegaan van een karakteristieke betontreksterkte, die hoger ligt dan de betontreksterkte volgens de VB '84. Tevens wordt in dit rapport, volgens de laatste theoretische inzichten, een berekeningsmethode voor buizen van ongewapend en van gewapend beton uiteengezet.

Gezien de recente datum van het CUR-rapport zal er enige inlooptijd nodig zijn om met deze berekeningsmethodiek ervaring op te doen en de resultaten aan de praktijk te toetsen. Dit geschiedt onder meer door controle van de sterkte van de buis door middel van kruinbelastingsproeven.

7.3 Buizen van PVC

Voor buizen tot en met $\varnothing 315 \text{ mm}$ (uitw. middellijn) dient te worden uitgegaan van klasse 34.

noodzaak berekening Bij het kruisen van een PVC-leiding met de rijbaan en voor buizen met een middellijn groter dan $\varnothing 315 \text{ mm}$ zal door berekening moeten worden nagegaan of toepassing van klasse 26 of zwaarder nodig is.

berekening De berekening kan worden uitgevoerd volgens de richtlijnen, zoals aangegeven in de pijpleiding-code volgens de "Vereenvoudigde sterkteberekening". Bij de berekening dient rekening te worden gehouden met de "lange duur" eigenschappen van PVC en te worden uitgegaan van een elasticiteitsmodules van 300 N/mm^2 , een toelaatbare spanning van $12,5 \text{ N/mm}^2$ en een toelaatbare vervorming van 5%.

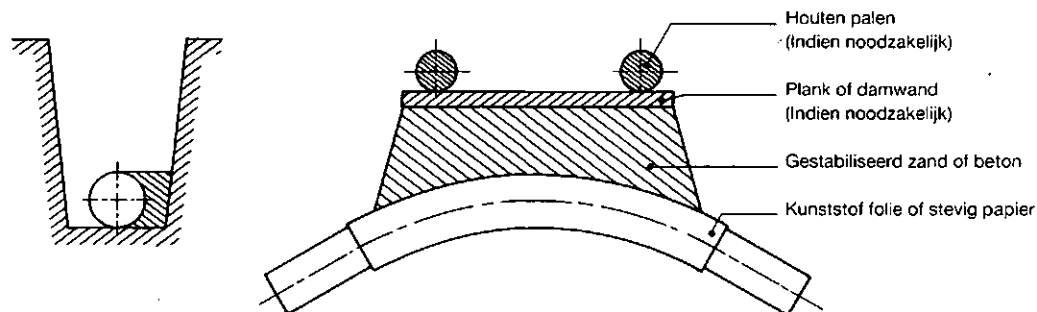
PVC is een plastische bouwstof, waarbij niet de treksterkte maar de vervorming op lange termijn maatgevend is. Inzake de vervorming van PVC-buizen in de grond zijn uitvoerige metingen verricht waarvan de resultaten in juni 1982 door de Stichting KOMO zijn aangegeven in de nota "Vervormingsmetingen aan operationele PVC-straatroleringen".

De mate van vervorming is afhankelijk van de wanddikte van de buis, de aard van de aanvulgrond en de zorg bij uitvoering en aanvulling. Duidelijk is dat naarmate de wanddikte groter is de invloed van de andere factoren geringer wordt. Vanwege de veelal ongewisse omstandigheden bij de aanleg dient, zoals dat in de NPR 3218 "Buitenrolering onder vrij verval" ook is aangegeven, minimaal te worden uitgegaan van klasse 34.

7.4 Buizen van PE-HD

berekening De benodigde drukklasse dient door berekening te worden vastgesteld. De berekening kan worden uitgevoerd volgens de richtlijnen zoals aangegeven in de pijpleidingcode volgens de "Vereenvoudigde sterkteberekening". Bij de berekening dient rekening te worden gehouden met de "lange duur" eigenschappen van PE-HD en te worden uitgegaan van een elasticiteitsmodulus van 700 N/mm^2 , een toelaatbare spanning van 5 N/mm^2 en een toelaatbare vervorming van 5%.

steunconstructies De bochtkrachten kunnen ook worden opgevangen door steunconstructies van gestabiliseerd zand of beton. De steunconstructie kan rechtstreeks tegen de ongeroerde grond of via ondersteuning door houten palen, planken of damwand tegen de ongeroerde grond rusten. Zie figuur 21.



Figuur 21: Voorbeeld van een steunconstructie.

Bij het construeren van steunconstructies dienen de volgende punten in acht te worden genomen:

- punt- en lijnbelastingen moeten worden vermeden, alsmede spanningen door buiging en/of torsie. De kracht moet over voldoende lengte gelijkmatig door de ondersteuning worden opgevangen;
- er dient zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van de stabiliteit van de ongeroerde grond;
- de constructie moet zodanig zijn dat de bocht of dergelijke naderhand met weinig mogelijkheden uit de leiding kan worden genomen. Rondom de bocht of de buis een kunststoffolie of een laag stevig papier aanbrengen;
- pas in weinig draagkrachtige grond bij voorkeur zo licht mogelijke materialen toe;
- de gebruikte materialen mogen geen voor leidingen schadelijke stoffen bevatten of daarmee worden behandeld (bijvoorbeeld impregneermiddelen, zoals creosootolie en carbolineum).

8.5 Controle

Zie NPR 3218, hoofdstuk 14.

kolken en aansluitleidingen Controle op verontreinigingen in aansluitleidingen kan geschieden door via de kolken water in de aansluitleidingen te spuiten, waardoor het eventuele vuil wegspoelt naar de riolering. De riolering kan daarna worden gecontroleerd als aangegeven in NPR 3218.

beproeving persleiding Onder bepaalde omstandigheden is het raadzaam om een leiding in eerste instantie in gedeelten en daarna volledig af te persen.

Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- een leiding met zinkers;
- een leiding tussen een damwand;
- een leiding onder een gesloten wegdek en op andere plaatsen waar bij reparatie achteraf hoge kosten kunnen ontstaan.

Voorts kan het aanbeveling verdienen om door het afpersen van bijvoorbeeld het eerste gedeelte van de leiding, een vorm van controle op de uitvoering van het werk uit te oefenen.

beproevingdruk De beproevingsdruk moet ten minste gelijk zijn aan $1,5 \times$ de maximaal te verwachten werkdruk in de buis met een minimum van 0,3 MPa.

afsluiten leiding Voor het afsluiten van de leiding kan bijv. gebruik worden gemaakt van een afsluitkap, een persschot of een blindflens. Bij een niet trekvlaste afsluitkap, een persschot of een blindflens moeten deze met een vijzel worden gestempeld, geplaatst tegen een dodebed.

8 Aanleg

8.1 Nederlandse Praktijk Richtlijn 3218

De aanleg dient, voor zover van toepassing, te worden uitgevoerd overeenkomstig het gestelde in de Nederlandse praktijkrichtlijn "Buitenriolering onder vrij verval – aanleg en onderhoud" NPR 3218.

In het navolgende zijn, waar nodig, per onderdeel afwijkingen of aanvullingen aangegeven.

8.2 Fundering van leidingen

Zie NPR 3218, hoofdstuk 7

Voor kunststofleidingen geldt hierbij dat voor auto(snel)wegen deze worden gefundeerd overeenkomstig "Oplegging op staal" in 7.1.

Puin, stenen of andere scherpe voorwerpen moeten uit de sleufbodem worden verwijderd ter voorkoming van beschadiging van de leiding.

Lijn- en puntbelastingen kunnen leiden tot een grotere deformatie. Daarom is het ontoelaatbaar de kunststofleidingen rechtstreeks op harde grond, riet-, kunststof- of rijsmatten, vlonders, baddingen of tegels te leggen.

De toepassing van een grondverbetering door gebruikmaking van materialen met een hydraulische werking, zoals bijv. slakkenzand en cement, dient met de meeste nadruk te worden ontraden met het oog op gevaar van breuk in de buizen ten gevolge van scheurvorming of zetting in deze lagen.

8.3 Grondwerk

Zie NPR 3218, hoofdstuk 8

- ontgraven** De sleuven worden uitgevoerd met zo steil mogelijke taluds.
Ter plaatse van de buisverbindingen moet, voor het maken van deze verbindingen, de vrije ruimte aan beide zijden van de leiding ca. 0,3 m bedragen. Daarnaast kan worden volstaan met een vrije ruimte ter weerszijde van de leiding van 0,15 m.
- aanvullen** Het dichten van de sleuf, met als belangrijkste fase daarvan de verdichting van de aanvulgrond, vereist de nodige zorg. Met name voor buizen van flexibel materiaal, zoals PVC en PE-HD, zal als gevolg van grond- en verkeersbelasting de buis worden ingedrukt en een ovale vorm aannemen. Om dit zoveel mogelijk te beperken dient de buis zijdelings goed te worden gesteund. Het is derhalve van groot belang om tussen de buis en de sleufwand een goedverdicht grondpakket aan te brengen, zo nodig door middel van aanvulling met zand.

8.4 Opvangen van bochtkrachten

De axiale krachten, die in persleidingen bij bochten, aftakkingen en eindpunten optreden, moeten worden opgevangen.

Bij geringe axiale krachten (lage drukken, flauwe bochten) kan bij voldoende draagkrachtige grond worden volstaan met een goede verdichting van de grond naast de buis.

Wanneer de grond onvoldoende weerstand kan bieden aan de optredende axiale krachten dienen aanvullende voorzieningen te worden getroffen door middel van trekvaste verbindingen of steunconstructies.

- trekvaste verbindingen** Bij toepassing van trekvaste verbindingen wordt de axiale kracht overgebracht op de aansluitende buizen. De wrijving tussen de grond en de buis is dan bepalend voor de lengte die trekvast moet worden uitgevoerd. In weinig draagkrachtige grond heeft deze verbinding de voorkeur boven extra voorzieningen.

Indien de afsluitkap trekvast aan de leiding is bevestigd, moeten enkele voorgaande verbindingen (het aantal is afhankelijk van onder meer de kleef van de grond) eveneens trekvast zijn. Het betreffende leidinggedeelte kan dan als zodanig als verankering fungeren. Bij een leiding van PE-HD kan een blindflens van PE-HD als tijdelijke afsluiting op de buis worden gelast.

- vullen, ontluchten en spoelen** Het vullen moet gelijkmatig en langzaam geschieden. Voor de snelheid van vullen kan als vuistregel worden aangehouden dat deze zodanig moet zijn afgesteld dat per uur ca. 300 m buis volloopt. Tijdens het vullen moet de leiding worden ontlucht via aangebrachte ontluchtingspunten, welke moeten worden gesitueerd op plaatsen waar luchtophoppingen zijn te verwachten (bijvoorbeeld voor en na zinkers en bij dijk kruisingen). Voor het ontluchten kan met goed gevolg gebruik worden gemaakt van een schuimplasticprop die tijdens het vullen langzaam door de leiding wordt geperst. Indien hiervan geen gebruik wordt gemaakt, is het nodig de leiding gedurende 4 tot 12 uur (afhankelijk van het lengteprofiel van de leiding) door te spoelen om de achtergebleven lucht zoveel mogelijk te verwijderen.
- afpersen** De perspomp moet zijn voorzien van twee geijkte manometers (afleesbaar in 0,01 MPa), waarvan er bij voorkeur ten minste één zelfregistrerend is. Aan te houden werkwijze:
- de leiding zodanig bijvullen dat de druk gelijktijdig oploopt met een snelheid van ca. 0,05 MPa/h tot 60% van de vereiste beproevingsdruk is bereikt;
 - een stabilisatieperiode van 12 uur aanhouden, waarbij deze druk moet worden gehandhaafd. Deze periode geldt voor het ondervangen van de invloed van eventuele zettingen en lucht in de leiding;
 - de druk gelijkmatig met een snelheid van ca. 0,1 MPa/h opvoeren tot de verlangde beproevingsdruk is bereikt;
 - de druk gedurende 5 uur handhaven. Hierbij mag in het eerste uur, indien nodig, worden bijgevuld. De volgende 4 uur moet de druk zonder bijvullen constant blijven. Bij PE-HD leidingen de druk gedurende 12 uur handhaven. Hierbij mag in de eerste 6 uur om de 2 uur worden bijgevuld. De volgende 6 uur moet de druk zonder bijvullen constant blijven.

8.6 Doorvoeringen door mantelbuizen

Zie NPR 3218, hoofdstuk 15.6.

Om binnendringen van grond te voorkomen moeten de uiteinden van de mantelbuis met rubberen slabben / manchetten of met stroken schuimrubber worden afgesloten.

Bij persleidingen en bijbehorende mantelbuizen met kleine middellijn kan de ruimte tussen mantelbuis en persleiding worden volgeschuimd (eventueel tevens ten behoeve van isolatie, bijv. polyurethaanschuim) of kan een vulmiddel zoals dämmmer, grout o.i.d. worden aangebracht.

8.7 Kolken en aansluitleidingen

Zie NPR 3218, hoofdstukken 16 en 17.

Bij het plaatsen van kolken in een machinaal aan te brengen goot van asphaltbeton dient vóór het aanbrengen van de onderlagen de onderbak te worden geplaatst.

Bij het aanbrengen van de onderlagen de onderbak afdekken met een houten schot of stalen plaat, welke achter de machine direct weer wordt vrijgemaakt en kan worden gebruikt voor de volgende kolk. Voor het aanbrengen van de deklaag het inlaatstuk plaatsen. de bovenkant van het inlaatstuk dient op ca. 10 mm beneden de bodem van de goot te liggen.

Bij het aanbrengen van de deklaag het inlaatstuk afdekken met een stalen plaat (dik ca. 3 mm), welke achter de machine aan wordt vrijgemaakt ten behoeve van de volgende kolk.

De kolk moet daarna zorgvuldig worden vrijgemaakt van eventuele asfaltspecie.

Bij het aanbrengen van de asfaltgoot moet, in de diverse fasen, de bovenkant van bovengenoemde afdekplaten beneden de bodem van de asfaltgoot liggen om te voorkomen dat de trilslede deze afdekplaten raakt.

9 Revisie

Zie NPR 3218, hoofdstuk 18.

Revisie dient, voor zover van toepassing, te worden uitgevoerd overeenkomstig het gestelde in de Nederlandse praktijkrichtlijn "Buitenriolering onder vrij verval -aanleg en onderhoud" (NPR 3218, hoofdstuk 18).

Revisie is van belang voor een goed beheer.
De gegevens dienen eenvoudig en snel toegankelijk te zijn.

10 Beheer – inspectie, onderhoud, herstel

Beheer, omvattende inspectie, onderhoud en herstel, dient voor zover van toepassing, te worden uitgevoerd overeenkomstig het gestelde in Nederlandse praktijkrichtlijn "Buitenriolering-Beheer" (NPR 3220).

Het belang van goed beheer is:

- het op de hoogte zijn van de juiste toestand;
- verlenging van de levensduur van het afvoerstelsel;
- het reduceren van calamiteiten (instorten van het riool, wateroverlast) tot een minimum;
- minder belasting van het milieu bij een noodlozing (ingeval van een vuilwaterstelsel);
- het efficiënter samenwerken met andere beheerders.

Het doel van beheer is het afvoerstelsel goed te laten functioneren tegen zo gering mogelijke kosten. Een praktisch hulpmiddel hiertoe is een geautomatiseerd rioolbeheersysteem, waardoor het mogelijk is om doeltreffend op knelpunten te reageren en de kosten van onderhoud optimaal te beheersen. Door middel van een rioolbeheersysteem kan men planmatig budgetteren, prioriteiten bepalen en de noodzaak van bestedingen onderbouwen.

De gegevens worden via revisie, inspectie en onderhoud verkregen. Het systeem is flexibel omdat men niet met plaatselijke wensen en omstandigheden rekening kan houden. Het is mogelijk en zinvol om een rioolbeheersysteem te koppelen aan andere systemen, zoals voor wegbeheer, voor groenbeheer en voor nutsleidingen.

De Nederlandse praktijkrichtlijn "Buitenriolering – Beheer" (NPR 3220) geeft aanwijzingen ten behoeve van het beheer, nader uitgewerkt in methodieken voor planvorming, registratie en uitvoering.

Ten aanzien van het onderhoud zij nog vermeld dat bij breuk in een onder de weg gelegen leiding het aanbeveling verdient deze leiding te vullen en af te stoppen en een nieuwe leiding door middel van doorpersen aan te brengen.

11 Bijzondere onderwerpen

11.1 Duikers

- ontwerp** Ten behoeve van het kruisen van bestaande waterlopen of het transporteren van het van de weg afkomende water naar één zijde van de weg moeten de nodige duikers in het wegontwerp worden opgenomen. De situatie (haakse of scheve kruising), lengte en beëindiging (frontmuur, taludelementen, bodem- en taludbekledingen, e.d.) volgen uit het wegontwerp en de plaatselijke situatie. Vormgeving en constructies volgen uit de benodigde hydraulische capaciteit, toelaatbare stroomsnelheid en vrije ruimte boven de waterspiegel. Bovendien zal het onderhoudsaspect erbij dienen te worden betrokken. Met het oog op de benodigde vergunning moet het ontwerp in overleg met het Waterschap in dat gebied worden bepaald. Duikers moeten zodanig worden ontworpen, dat het gedrag van het weglichaam ter plaatse van de duiker zo min mogelijk afwijkt van het gedrag van de rest van de weg en de duiker bij eventuele zetting van het weglichaam zijn functie blijft vervullen.
- constructie** De duikers kunnen worden uitgevoerd als:
- "starre" duikers. Deze duikers worden gemaakt van in het werk gestort beton of van elementen van gewapend beton die met behulp van spankabels worden gekoppeld, zodat deze in zekere mate als een monoliet-constructie zijn te beschouwen.
 - "flexibele" duikers, die enige ongelijkmatige zettingen in de ondergrond kunnen volgen. Deze duikers kunnen worden gemaakt van elementen van gewapend beton, elementen van spiraalvormig gegolfd plaatstaal of van een meerplatisch systeem van gegolfd plaatstaal.
- De systeemkeuze is afhankelijk van de zettingsgevoeligheid en de benodigde afmetingen. Het al dan niet toepassen van stootplaten is afhankelijk van het te verwachten zettingsverschil tussen de duiker en het weglichaam. Voor stootplaten zie de interimrapportage betreffende "Overgangsconstructies van kunstwerk naar weglichaam" uitgegeven door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat te Delft.
- sterkteberekening** De sterkteberekening dient, na opgave van de belasting door de ontwerper, te geschieden door de leverancier van de duikerelementen en door een terzake deskundige te worden gecontroleerd. Voor de buizen van beton is het gestelde in 7.1 en 7.2 van toepassing. De sterkteberekening van duikerelementen van beton dient te worden getoetst aan de VB '84. De sterkteberekening van buizen van gegolfd plaatstaal moet worden uitgevoerd met de methode "Klöppel en Glock".
- aanleg** Het leggen respectievelijk het monteren en behandelen van de duikers moet worden uitgevoerd overeenkomstig de voorschriften van de leveranciers. Overigens dient de aanleg, voor zover van toepassing, te worden uitgevoerd overeenkomstig het gestelde in de Nederlandse praktijkrichtlijn "Buitenriolering onder vrij verval - Aanleg en onderhoud" NPR 3218.
- normen** In bijlage D zijn de normen voor duikerelementen vermeld.
- elementen van beton** De elementen van gewapend beton zijn leverbaar in diverse afmetingen (zie leveringsprogramma's van de leveranciers). De verbinding kan worden uitgevoerd als verbinding met vaar- en moereind of als mofspieverbinding met rubberring. Met behulp van spandraden kunnen de elementen desgewenst worden gekoppeld. Een koppeling kan voorkomen dat bij zettingen te grote voegbreedten ontstaan, terwijl de koppeling tevens kan zorgen voor het borgen van de taludbeëindigingen aan de duikerconstructie. De duikers kunnen worden uitgevoerd met knikelementen, inspectie-openingen en zijaansluitingen, terwijl diverse typen taludbeëindigingen kunnen worden geleverd.
- elementen van staal** De elementen van spiraalvormig gegolfd plaatstaal of van een meerplatisch systeem van gegolfd plaatstaal zijn leverbaar in diverse afmetingen (zie leveringsprogramma's van de leveranciers). De

verbinding van de elementen van spiraalvormig gegolfd plaatstaal geschiedt door middel van koppelbanden. De verbinding van het meerplatisch systeem van gegolfd plaatstaal geschiedt door middel van bouten en moeren.

Het plaatstaal en de verbindingen zijn thermisch verzinkt en kunnen, indien dit noodzakelijk wordt geacht, worden voorzien van een beschermingslaag van bijvoorbeeld een koolteerepoxy of een epoxyhars.

De duikers kunnen worden uitgevoerd met knikelementen, inspectie-openingen en zijaansluitingen, terwijl diverse typen taludbeëindigingen kunnen worden geleverd. Bij de duikers van gegolfd plaatstaal vormt de steundruk van de grond een onderdeel van de berekening. Van belang hierbij is het zogenaamde stijfheidsgetal van de grond. Naarmate het stijfheidsgetal hoger is kan de staaldikte minder worden of andersom. Uit dien hoofde dient aan de aanvulling van de stalen duikers de hoogste eisen te worden gesteld. De te hanteren sondeerwaarde ter controle van de verdichting van de grondaanvulling hangt af van de grootte van het stijfheidsgetal.

11.2 Aansluiting aardebaan op kunstwerken

Uitgangspunt bij het ontwerp moet zijn dat het hemelwater vóór de overgang van het kunstwerk op de aardebaan of andersom wordt opgevangen.

De constructie voor de opvang en de afvoer van hemelwater ter plaatse van genoemde overgang dient zodanig te zijn, dat geen openingen ontstaan waardoor water het weglichaam binnendringt en tot ontgronding kan leiden.

constructie De constructie voor de opvang van het water bestaat uit een opvangput die vast verbonden is met het kunstwerk. De put dient te worden voorzien van een stroomprofiel en te worden afgedekt met een gietijzeren rooster en gietijzeren omranding. Bij een negatieve dwarshelling dient voor één rijbaan ook een opvangput te worden aangebracht ter plaatse en ter breedte van de redresseerstrook.

De constructie voor de afvoer van het water vanaf de opvangput naar het riool van de aardebaan moet flexibel worden uitgevoerd door middel van een afvoerleiding van PE-HD. De aansluiting op de opvangput dient trekvast te worden uitgevoerd. De middellijn van de afvoerleiding is afhankelijk van de af te voeren hoeveelheid hemelwater afkomstig van de opvangput en van het eventuele afvoerstelsel van het kunstwerk. De middellijn dient, om verstopping te voorkomen, min. \varnothing 200 mm uitw. te zijn. In de afvoerleiding mogen geen knikken of zijaansluitingen voorkomen.

De goot van de aardebaan dient aan te sluiten op het kunstwerk om het water dat niet in de opvangput terecht komt op te vangen. In deze goot dient ter hoogte van het eind van de stootplaten een kolk te worden geplaatst.

In figuur 22 zijn bovenstaande principes van een afwateringsschema bij kunstwerken verwerkt in een voorbeeld.

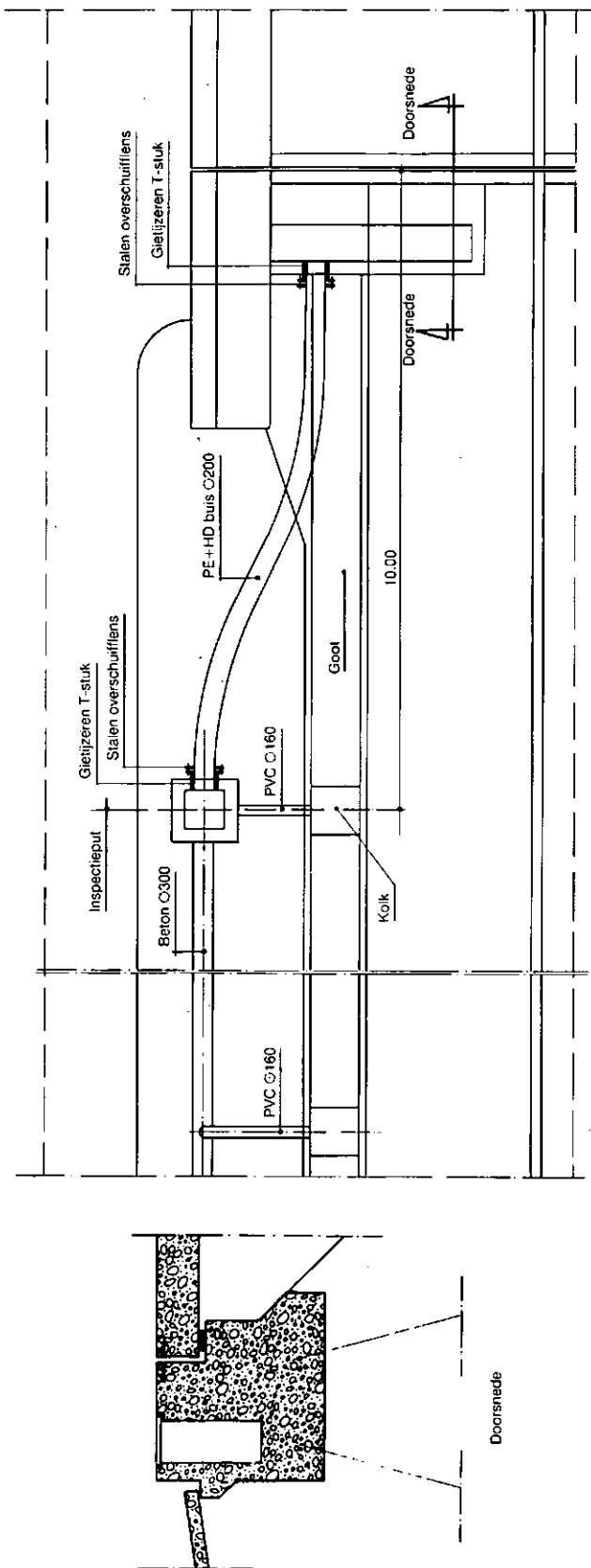
tijdelijke maatregelen Indien nog geen definitieve verharding is aangebracht zullen tijdelijke maatregelen moeten worden genomen voor de afvoer van het hemelwater.

Gezien de dwarshelling van de rijbaan zal het merendeel van het water naar de zijkant afvloeien en kan worden volstaan met het aanbrengen van de opvangput op de wijze zoals hierboven is aangegeven. Het goed aansluiten, verdichten en onderhouden van de asfaltbetonverharding aan de voegconstructie van het kunstwerk is van groot belang om te voorkomen dat het niet via de opvangput afvloeiende water tussen kunstwerk en aardebaan door in de ondergrond terecht kan komen.

De constructie geldt voor zowel hoog- als laag gefundeerde landhoofden.

Bij kunstwerken met een grote toestroom in langsrichting

kan het aanbeveling verdienen om een opvangput over de gehele wegbreedte te maken.



Figuur 22: Voorbeeld van een aansluiting van de aardebaan op een kunstwerk; geschematiseerde constructie voor opvang en afvoer hemelwater.

Het flexibel uitvoeren van de afvoerconstructie is noodzakelijk in verband met de zettingsverschillen tussen aardebaan en kunstwerk. Het kunstwerk is veelal op een vaste grondslag gefundeerd, terwijl de aardebaan aan zetting onderhevig is. De grootte van de zetting van de aardebaan is afhankelijk van de periode, die voor de consolidatie van de ondergrond beschikbaar is. Daarnaast geschiedt de aanvulling ter plaatse van de aansluiting meestal in de eindfase van het werk, waarbij aan de verdichting van de bovenste lagen extra zorg moet worden besteed.

De te nemen tijdelijke maatregelen zijn afhankelijk van de plaatselijke situatie en van het stadium waarin de diverse onderdelen van het werk zijn. Voor de tijdelijke maatregelen kan worden gedacht aan het opvangen van het water van het kunstwerk via een aan het kunstwerk, over de gehele breedte, bevestigde opvanggoot naar de reeds aangebrachte definitieve opvangput of een rij gemetselde klinkers met noodafvoer.

Indien de definitieve afvoerleiding nog niet kan worden gerealiseerd, kan een tijdelijke afvoerleiding van PE-HD o.i.d. naar een beschikbaar lozingspunt in de nabijheid worden gelegd. Het aanbrengen van tijdelijke drains kan mede bijdragen tot het voorkomen van weg- of uitspoelen van de aardebaan.

11.3 Aansluiten van drainage

Zoals gesteld in hoofdstuk 1 wordt de drainage als zodanig in deze richtlijnen buiten beschouwing gelaten. Ontraden wordt de afvoer van de drainage via het hemelwaterafvoerstelsel te laten plaatsvinden.

Bij het aansluiten van drainage kan bij regen het water vanuit het hemelwaterafvoerstelsel in de drain lopen, zodat de drains in plaats van water aan de ondergrond te onttrekken het water in de ondergrond voeren.

Als gevolg hiervan kan de grondwaterstand onder de verharding stijgen en de hieruit voortvloeiende sterke verhoging van het vochtgehalte aan de bovenzijde van het zandbed kan aanleiding zijn tot achteruitgang van het draagvermogen van de wegfundering.

Voorts kan bij aanwezigheid van een (hoog) ijzergehalte in het grondwater ijzeruitvloeking optreden en tot verontreinigingen van de riolen leiden.

In bepaalde gevallen, b.v. bij een weg in een ingraving, kan het voorkomen dat men desondanks toch aangewezen is op aansluiten van een drainage of een gedeelte hiervan op het hemelwaterafvoerstelsel. Bij de dimensionering van het hemelwaterafvoerstelsel (inclusief een eventuele bemalingsinstallatie) zal dan mede rekening moeten worden gehouden met de hoeveelheden, welke – volgens een geo-hydrologisch onderzoek – via de drainage worden aangevoerd.

Indien het drainwater moet worden gezuiverd omdat b.v. het via de drains aangevoerde water een te hoog chloridegehalte heeft, dan zal bij een gemengd systeem de zuiveringsinstallatie groter moeten worden dan wanneer het drainwater gescheiden van het hemelwater wordt afgevoerd. Dit is nodig omdat enerzijds de te verwerken hoeveelheden groter zijn en anderzijds omdat er een ontziltingsinstallatie moet worden toegevoegd.

11.4 Brandstofverkoop punten en verzorgingsplaatsen

In het kader van de afwatering van autosnelwegen kunnen op voorhand voor de afvoerstelsels van brandstofverkoop punten en verzorgingsplaatsen in waterwingebieden de volgende richtlijnen worden gegeven. Deze richtlijnen worden ook aanbevolen voor brandstofverkoop punten buiten waterwingebieden.

verharding De vloeistofdichte verharding dient met een zodanig afschot te worden gelegd dat afstroming van gemorste vloeistof en hemelwater naar de goten en kolken gewaarborgd is.

- goten en kolken** De goten en kolken moeten ondoorlatend zijn en kunnen daartoe worden voorzien van een olie- en benzinebestendige coating.
De aansluiting van de goten onderling en de aansluiting van de goten en de kolken op de verharding worden met een olie- en benzinebestendige kit afgedicht.
- riolen** De kolken dienen direct af te wateren op riolen welke in verbinding staan met een slib/zandopvangput en een benzine- en olie-afscheider. Indien de kwaliteit van het effluent nog onvoldoende is, kan het water worden geleid door een kleinschalige zuiveringsinstallatie van voldoende capaciteit welke nog mogelijk schadelijke stoffen filtert.
De bouwstoffen van de riolen dienen olie- en benzine bestendig te zijn. De in aanmerking komende buismaterialen zijn gietijzer, roestvast staal, glasvezel versterkte kunststof en polyetheen met hoge dichtheid (PE-HD). Gezien de kwaliteit-prijsverhouding verdient PE-HD de voorkeur.
De verbindingen moeten waterdicht zijn. Door buizen van zo groot mogelijke lengten toe te passen kan het aantal verbindingen worden beperkt. Bij toepassing van een rubberringverbinding moeten de ringen vervaardigd zijn van nitrilbutadiëenrubber (NBR) of chloropreenrubber (CR) danwel van een kwalitatief gelijkwaardig materiaal.
- benzine/olieafscheider** De benzine/olie-afscheider dient een zodanige capaciteit te bezitten, dat het totale aanbod van verontreiniging van het kwetsbare gebied kan worden behandeld. De inlaat van de afscheider moet zijn uitgevoerd met stankslot, zodat wordt voorkomen dat explosieve gasmengsels in de aanvoerleiding kunnen komen. De afscheider dient te zijn voorzien van een afsluiter, die sluit zodra de maximale capaciteit is bereikt.
- normen** In bijlage D zijn de normen voor afscheiders en bezinkputten vermeld.
- afvoer riolering
vloeistofdichte verharding** Het water afkomstig van de vloeistofdichte verharding dient bij voorkeur via het gemeentelijk rioelstelsel te worden afgevoerd.
Indien dit niet mogelijk is, kan onder bepaalde voorwaarden op het oppervlaktewater worden geloosd, bij voorkeur buiten en benedenstrooms een eventueel beschermd gebied. Een en ander is mede afhankelijk van de eisen die gesteld worden door de beheerders van het oppervlaktewater.
- afvoer overig hemelwater
van brandstof
verkooppunten c.a.** De hemelwaterafvoer van de luifel en gebouwen kan rechtstreeks op het oppervlaktewater lozen. De afvoer van de diverse voorzieningen in het tankstation c.a., zoals toiletten, wasbakken etc., dient plaatselijk te worden gezuiverd of via een apart rioel te worden afgevoerd naar een gemeentelijk rioelstelsel of naar een zuiveringsinstallatie.
- onderhoud** De riolen en putten dienen te worden onderhouden overeenkomstig het gestelde in 10.
De benzine/olie-afscheider dient gemakkelijk toegankelijk te zijn voor onderhoud en controle. De installatie moet maandelijks worden gecontroleerd op goed functioneren en minstens eenmaal per 4 maanden worden gereinigd. De uit de afscheider afkomstige stoffen moeten door een hiertoe bevoegd en erkend bedrijf (b.v. tankcleanbedrijf) worden afgevoerd.
- werggroep** Als gevolg van lekkages van installaties of het morsen van brandstof bij het tanken vindt bij brandstofverkooppunten verontreiniging van bodem en grondwater plaats. Voor verzorgingsplaatsen is dit, zij het in mindere mate, eveneens het geval.
Met betrekking tot de brandstofverkooppunten is er thans een onderzoek gaande om te komen tot milieu beschermende maatregelen. Een werkgroep van Rijkswaterstaat, de gezamenlijke benzine-maatschappijen en het KIWA heeft tot opdracht te onderzoeken welke technische maatregelen hiertoe noodzakelijk zijn. Dit als aanvulling op de huidige, door de Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen (C.P.R.) opgestelde, "Richtlijnen voor ondergrondse opslag van vloeibare aardolieproducten in beschermde waterwingebieden".
Naast de maatregelen met betrekking tot opslagtanks (inclusief leidingen, tap- en vulpunten) en vloeistofdichte verhardingen rond de pompeilanden worden door de werkgroep ook eisen gesteld ten aanzien van het afvoerstelsel.

interim rapportage In de interimrapportage "Maatregelen voor nieuwe brandstofverkoop punten langs autosnelwegen binnen beschermde waterwingebieden" d.d. november 1985 van de werkgroep wordt ingegaan op de mogelijke oorzaken van geconstateerde verontreiniging, de te nemen maatregelen en het gebruik van materialen, alsmede controle en onderhoudsmaatregelen tijdens het gebruik. Voor een aantal maatregelen zijn een nadere technische invulling en een evaluatie van ervaring noodzakelijk, voordat definitieve en meer gedetailleerde richtlijnen kunnen worden opgesteld. Nader moet worden onderzocht de mogelijke toepassingen van voor het doel geschikte kleinschalige zuiveringsinstallaties.

De vloestofdichte verharding moet worden aangebracht ter plaatse van tappunten en van vulpunten van de tanks. Ook aan de minder kwetsbare gedeelten van de verharding zoals voorterrein, de in- en uitritten en verzorgingsplaatsen dient de nodige zorg te worden besteed om een zo dicht mogelijke verharding te verkrijgen. Een klinkerbestrating met open voegen is dan ook veelal onvoldoende.

11.5 Waterwingebieden

In waterwingebieden kunnen door derden bijzondere eisen worden gesteld aan de afvoer van hemelwater van auto(snel)wegen.

Zoals in 11.4 is vermeld zijn met betrekking tot de brandstofverkoop punten al een aantal technische maatregelen gesteld ten aanzien van het afvoersysteem. De eventuele benodigde maatregelen ten aanzien van het van het wegdek afstromende water zal afhangen van de resultaten van het door derden gestart onderzoek naar de waterkwaliteit (zie 2.3).

11.6 Geluidbeperkende constructies

Voor de aanleg van geluidbeperkende constructies wordt verwezen naar de "Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen". De afwatering bij geluidbeperkende constructies moeten worden uitgevoerd overeenkomstig het gestelde in deze richtlijnen.

In Nederland bestaan tot op heden geen standaardoplossingen van de afwatering bij een geluidbeperkende constructie. Uit een in 1983 door Rijkswaterstaat gehouden onderzoek is gebleken dat er een grote variëteit in oplossingen is, te weten:

- geheel "natuurlijk";
- "natuurlijk" met grindkoffer;
- riolen met goot, putten en kolken;
- riolen met ribbedrain;
- greppel.

De conclusie was dat de afwatering veelal geen problemen heeft gegeven.

De wijze van afwateren zal van geval tot geval bepaald dienen te worden, afhankelijk van beplanting, talud, ruimte en onderhoud (bladval).

Zodra meer gegevens bekend zijn over de opgedane ervaringen met de diverse constructies zal worden nagegaan in hoeverre het gewenst of noodzakelijk is om specifieke richtlijnen op te stellen inzake de afwatering bij geluidbeperkende constructies.

11.7 Drainerende verhardingen

Voor drainerende verhardingen wordt de afvloeiingscoëfficiënt", zoals aangegeven in 3.2, gesteld op 1.

De laatste jaren zijn, met het doel de wateroverlast op de weg te verminderen, op diverse proefvakken toplagen van zeer open asfaltbeton toegepast.

Door een hoog holle ruimtepercentage (18-25%) worden "kanaaltjes" gevormd, die kunnen fungeren als opslagbuffer of als draineerlaag. Het belangrijkste aspect daarbij is te komen tot verkleining van de waterlaagdikte op de weg. De constructie biedt geen inzicht in de afloeiingscoëfficiënt van het oppervlak. Uit ervaring zal moeten blijken in hoeverre door inwerking van het verkeer en door neerslag van vuil de opslag- en drainfunctie intact blijft en in hoeverre zijdelingse afvoer bijvoorbeeld bij vorst, via de bermen wordt verhinderd.

Voor de afwatering wordt er derhalve van uitgegaan, dat elke neerslag, zij het voor een deel vertraagd, moet worden afgevoerd via het afvoerstelsel.

A Literatuuroverzicht

- a = neerslag, berekeningsintensiteit, smeltwater
- b = samenstelling hemelwater, agressieve stoffen
- c = afstroming (oppervlakken, afvloeicoëfficiënt, vertraging)
- d = systemen, ontwerp
- e = dimensionering, sterkteberekening
- f = aanleg, onderhoud, beheer
- g = kunstwerken - duikers
- h = brandstofverkooppunten, verzorgingsplaatsen
- i = geluidwerende constructies

Boeken, studies, rapporten, tijdschriftartikelen

- | | |
|---|---|
| 1. Dr. C. Braak
Het klimaat van Nederland, Neerslag.
Medelingen en verhandelingen KNMI 34a-1934 | a |
| 2. -
Richtlijnen voor het ontwerpen van open waterlopen en van sommige bijbehorende kunstwerken.
Koninklijk Instituut van Ingenieurs en Koninklijk Nederlands Genootschap van Landbouwwetenschap - 1958 | e |
| 3. -
Grafieken ten dienste van de berekening van open waterlopen en daarin gelegen kunstwerken.
Koninklijk Instituut van Ingenieurs en Koninklijk Nederlands Genootschap van Landbouwwetenschap - 1958 | e |
| 4. Ven Te Chow
Open-Channel Hydraulics.
McGraw-Hill Book Cy. New York - 1959 | e |
| 5. Dr. ing. Kurt Roske
Betonrohre nach DIN 4032. Belastung und Tragfähigkeit. | e |
| 6. F.M. Henderson
Open Channel Flow.
McMillan Cy, New York - 1966 | e |
| 7. ing. A.J. Gelok
Grafieken voor het bepalen van de momenten in ronde betonbuizen.
Pt. 10-5-68 | e |
| 8. ir. F. Wagenmaker
Berekening van ondergrondse leidingen.
Pt. 16-8-68 | e |
| 9. prof. ir. L. Huisman
Stromingsweerstand in leidingen.
Februari 1969 | e |
| 10. Eternit
Verslag studiedag rioolbuizen.
H ₂ O - nr. 23/69 | e |

- | | |
|--|----------------------|
| <p>11. A.G. van den Herik
 Het ontwerpen van rioleringen met behulp van een computer.
 Pt. 21-8-70</p> | <p>a c e</p> |
| <p>12. Klöppel und Glock
 Theoretische und experimentelle Untersuchung zu dem Traglastproblem biegeeweiche in der Erde eingebettene Rohre.
 Institut für Statik und Stahl der Technische Hochschule in Darmstadt. Heft no. 10-1970</p> | <p>e</p> |
| <p>13. -
 Merkblatt für die Entwässerung von Strassen.
 Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen -1971</p> | <p>e f</p> |
| <p>14. André van der Beken en Jean Berlamont
 De berekening van draineerbuizen en straatgoten met een continue zijdelingse instroming.
 La Technique Routiere, Vo. XVI no. 1/1971</p> | <p>e</p> |
| <p>15. ir. I.W. Nortier
 Hydraulica voor waterbouwkundigen, 1971</p> | <p>e</p> |
| <p>16. ing. A.J. Gelok
 Beschrijving van het computerprogramma buis.
 Pt. 19-9-73</p> | <p>e</p> |
| <p>17. ing. A.J. Gelok
 Wrijvingsverliezen gegolfd plaatstalen duikers.
 Cultuurtechnische Dienst, Afd. Waterhuishouding, Juli 1975</p> | <p>e g</p> |
| <p>18. Prof. ir. A.C.J. Koot
 Inzameling en transport van rioolwater.
 Maart 1977</p> | <p>a b c d e f g</p> |
| <p>19. ing. P.H. van Heummen
 Een praktische rekenmethode voor betonnen buizen.
 Pt. nr. 4/79</p> | <p>e</p> |
| <p>20. T.A. Buishand en C.A. Velds
 Klimaat van Nederland. Neerslag en verdamping.
 KNMI 1980</p> | <p>a</p> |
| <p>21. -
 Rapport hoogspanningslijnen, pijpleidingen en kabels in en nabij rijkswegen.
 RWS -werkgroep Hobu, september 1981</p> | <p>d e f</p> |
| <p>22. Stichting KOMO
 Vervormingsmetingen aan operationele PVC-straatriolering.
 Juni 1982</p> | <p>e</p> |
| <p>23. Wavin
 Ontwerpen van kunststofriolen.
 26-10-1982</p> | <p>e</p> |

- | | |
|--|--------------------|
| <p>24. Wavin
 Riolen van kunststof: vervormingsmetingen aan operationele PVC-straatriolering.
 Installatie no's 2/83 en 3/83</p> | <p>d e</p> |
| <p>25. ing. Th. A. Faaij
 Waterhuishouding in verdiept wegdeel.
 Weg en Water 1 (1984) nr. 3</p> | <p>d e f</p> |
| <p>26. Dr.ir. T.A. Buishand
 Neerslaggegevens bij rioleringsberekeningen.
 H₂O -nr. 7/84</p> | <p>a</p> |
| <p>27. Stichting Beroepsopleidingen Weg- en Waterbouw
 Rioleringen.
 Cursusboek en syllabus. Juli 1984</p> | <p>a b c d e f</p> |
| <p>28. P. Riemens
 Bodembescherming bij benzinstations.
 PT/C 1985 (40) 8</p> | <p>h</p> |
| <p>29. ing. J. Honingh
 Normen bewaken kwaliteit riolen.
 Weg en Water 2 (1985) nr 8</p> | <p>d</p> |
| <p>30. -
 Maatregelen voor nieuwe brandstofverkooppunten langs auto-snelwegen binnen beschermde waterwingebieden.
 RWS -DWW, november 1985</p> | <p>h</p> |
| <p>31. CUR-VB
 Rapport no. 122. Buizen in de grond - berekening van ongewapende en gewapende betonnen buizen.
 Stichting CUR-VB. December 1985</p> | <p>f</p> |
| <p>32. ing. G. Mei
 Nieuwe richtlijnen voor milieu-vriendelijke benzinepompsstations.
 Land + Water 1986/3</p> | <p>h</p> |
| <p>33. -
 Overgangsconstructie van kunstwerk naar weglichaam.
 RWS -DWW, april 1986</p> | <p>h</p> |

B Formules voor de dimensionering van open en gesloten leidingen

In deze bijlage worden formules met toelichtingen gegeven voor de volgende onderwerpen:

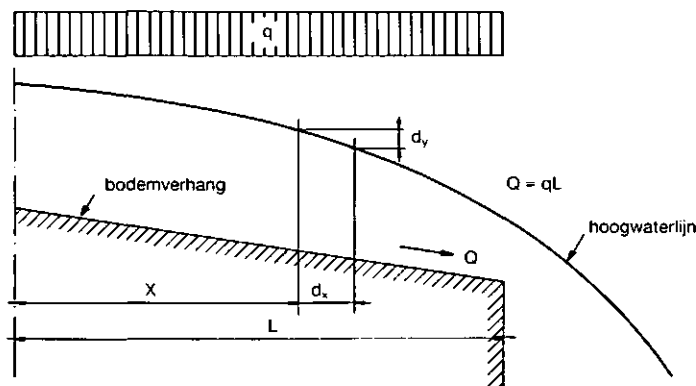
1. Goten en kolkafstanden.
2. Geheel gevulde buizen.
3. Gedeeltelijk gevulde buizen.
4. Waterlopen.

De in deze bijlage gehanteerde formules zijn ontleend aan:

voor goten	: - Ven Te Chow. Open Channel Hydraulics (zie bijlage A punt 4). - André van der Beken en Jean Borlamont. De berekening van draineerbuizen en straatgoten met een continue zijdelingse instroming (zie bijlage A punt 14).
voor buizen	: - prof. ir. L. Huisman. Stromingsweerstand in leidingen (zie bijlage A punt 9). - ir. I.W. Nörtier. Hydraulica voor waterbouwkundigen (zie bijlage A punt 15). - prof. ir. A.C.J. Koot. Inzameling en transport van rioolwater (zie bijlage A punt 18).
voor waterlopen	: - Koninklijk Instituut van Ingenieurs en Koninklijk Nederlands Genootschap van Landbouwwetenschap. Richtlijnen en grafieken (zie bijlage A punten 2 en 3). - prof. ir. L. Huisman. Stromingsweerstand in leidingen (zie bijlage A punt 9).
voor duikers	: - Koninklijk Instituut van Ingenieurs en Koninklijk Nederlands Genootschap van Landbouwwetenschap. Richtlijnen en grafieken (zie bijlage A punten 2 en 3). - prof. ir. L. Huisman. Stromingsweerstand in leidingen (zie bijlage A punt 9). - ir. I.W. Nörtier. Hydraulica voor waterbouwkundigen (zie bijlage A punt 15).

B.1 Goten en kolkafstanden

In tegenstelling tot de overige elementen van het hemelwaterafvoer van wegen heerst er in goten geen constant debiet vanwege het van het wegdek gelijkmatig zijdelings instromende hemelwater. Het in een goot heersende stroombeeld is in figuur 1 schematisch weergegeven:



Figuur 1: Stroombeeld in een goot.

Ven te Chow en Henderson geven voor de stijging dy/dx van de hoogwaterlijn onder dergelijke omstandigheden de volgende differentiaal vergelijking:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{l_b - l_f - 2 \cdot q \cdot v / g \cdot A}{1 - Fr^2} \quad (1)$$

waarin:

l_b	= bodemverhang	(-)
l_f	= energieverhang t.g.v. wandwrijving	(-)
q	= zijdelings instroomdebiet	(m ³ /s·m)
v	= stroomsnelheid	(m/s)
g	= zwaartekrachtversnelling	(m/s ²)
A	= natte doorsnede	(m ²)
Fr	= Froude-getal	(-)

Het oplossen van deze differentiaalvergelijking geeft echter de nodige problemen, welke onder- vangen zijn door het samenstellen van grafieken voor verschillende gootprofielen (figuren 2, 3 en 4). Deze grafieken zijn gebaseerd op de vereenvoudigde rekenmethode van Van der Beken en Berlamont met gebruikmaking van de formule van Colebrook. De gehanteerde wandruwheid k hierbij is 5 mm, gebaseerd op een asfaltgoot voorzien van een oppervlaktebehandeling met steenslag 4/8 mm.

Op grond van de gehanteerde methode zijn de grafieken alleen geldig voor langshellingen groter dan 0,2%. Voor kleinere langshellingen dan 0,2% kunnen de bij deze grenswaarde af te lezen kolkafstanden worden aangehouden, omdat in de goot een waterscheiding tussen de kolken zal ontstaan.

B.2 Geheel gevulde buizen

De stromingswrijving in een geheel gevulde cirkelvormige buis onder permanente stromingscondi- ties kan worden berekend met behulp van de formule van Darcy-Weisbach:

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

waarin:

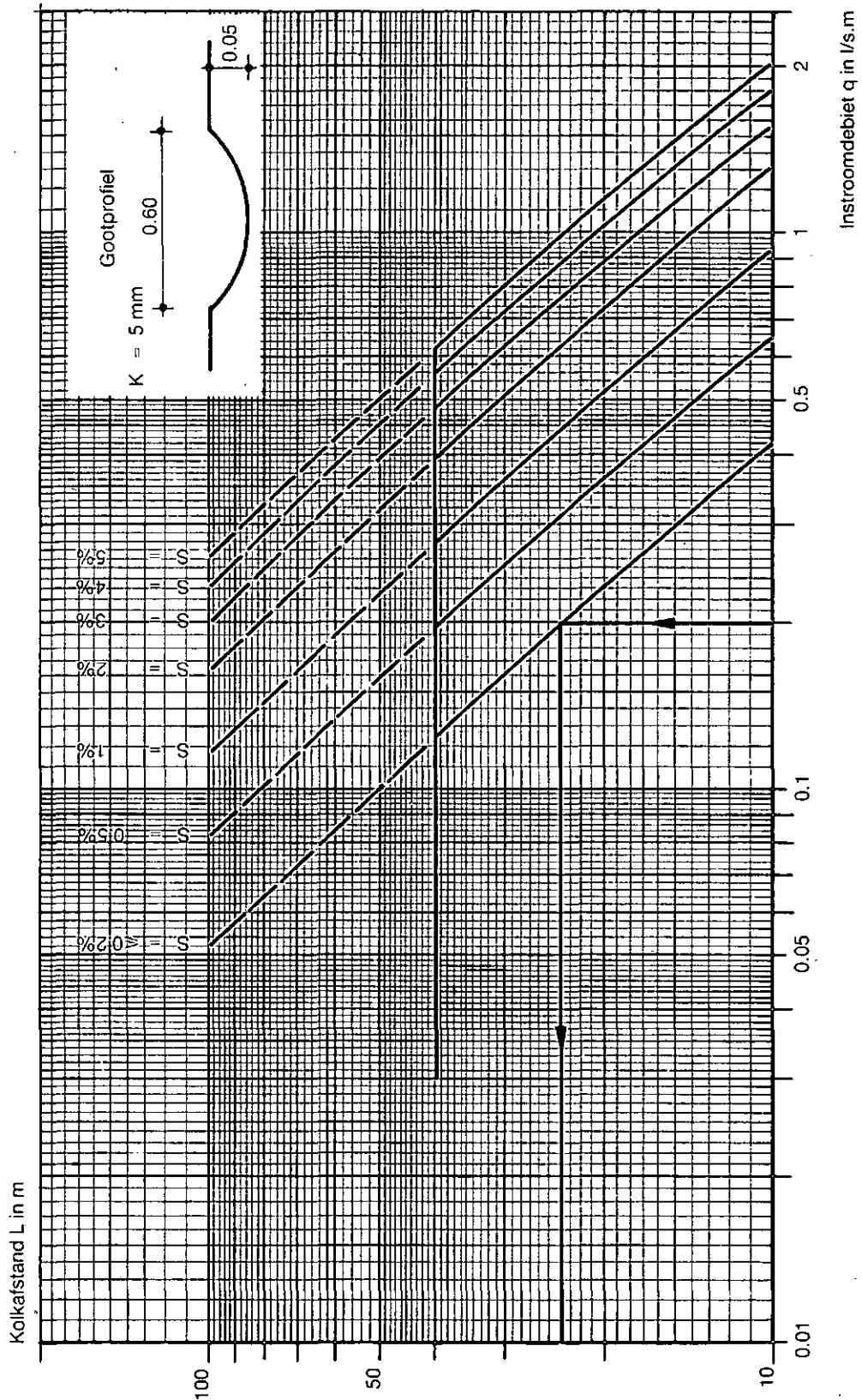
ΔH	= energieverlies	(m)
λ	= wrijvingsverlies	(-)
L	= lengte van de buis	(m)
v	= gemiddelde snelheid	(m/s)
g	= versnelling van de zwaartekracht	(m/s ²)
D	= middellijn van de buis	(m)

Voor rioolbuizen is de waarde van λ een functie van het getal van Reynolds en de wandruwheid. Colebrook kwam voor het zogenaamde "overgangsgebied" van turbulente stroming langs een hydraulisch gladde wand en een hydraulisch ruwe wand tot de volgende formule:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71 \cdot D} \right] \quad (3)$$

waarin:

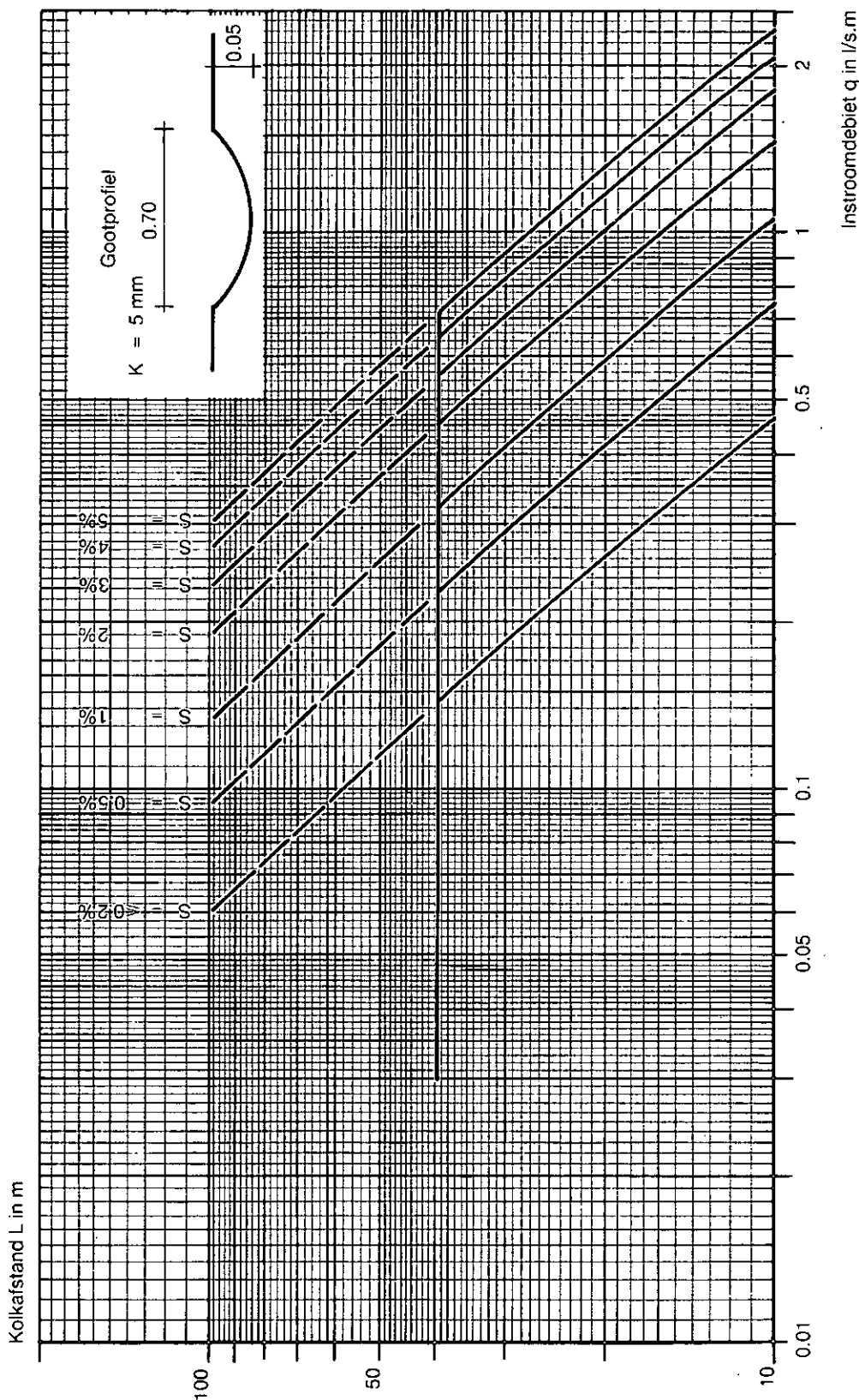
Re	= het getal van Reynolds	(-)
k	= wandruwheid	(m)
λ	= wrijvingsfactor	(-)



Het maximaal afwaterend oppervlak per kolk wordt beperkt tot 600 m²

$q = b \cdot i \cdot 10^{-4}$ l/s.m, waarin: b = wegbreedte in m
 i = regenintensiteit in l/sec.ha

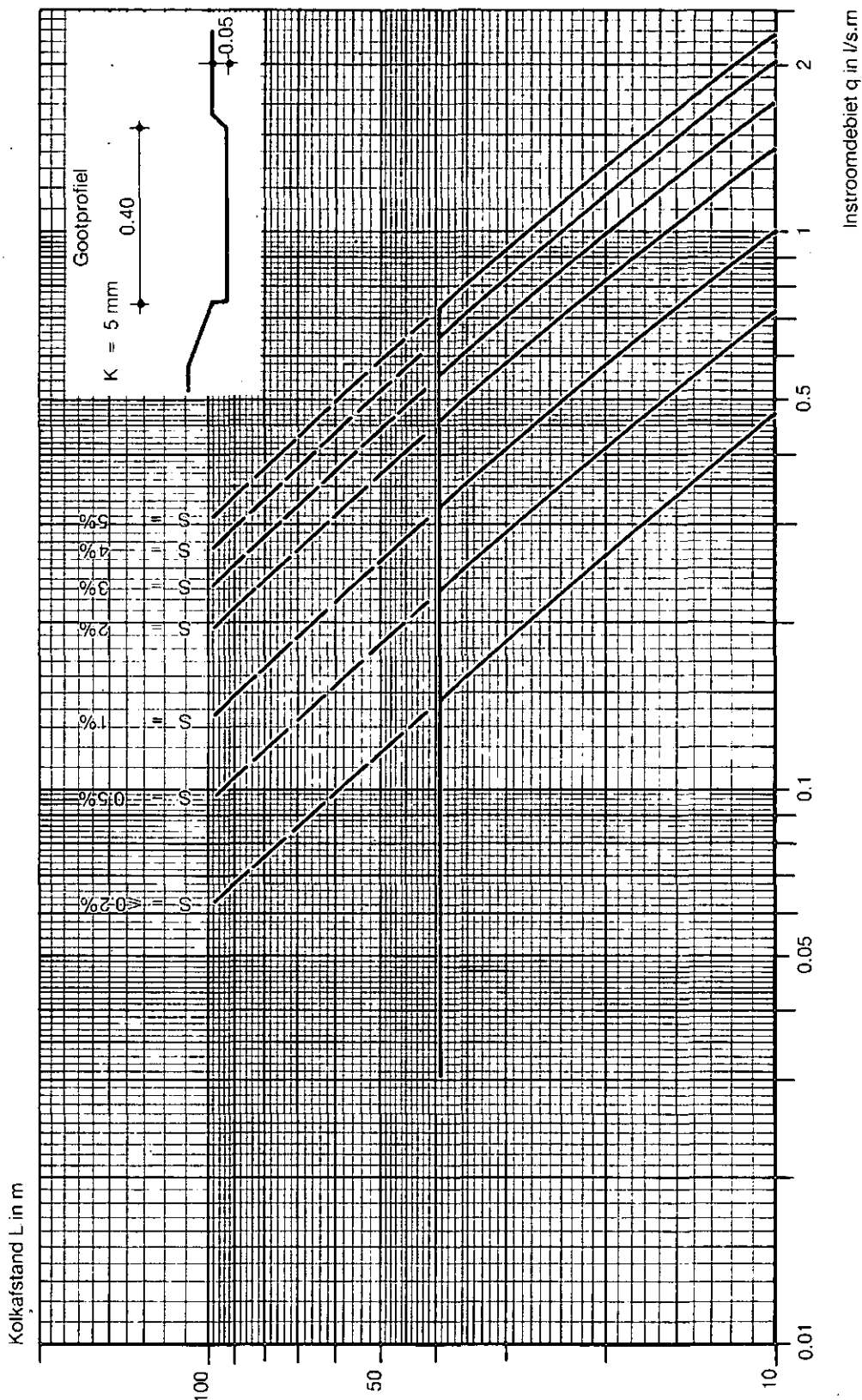
Figuur 2: Kolkafstanden als functie van het zijdelingse instroomdebiet q en de langshelling s voor een halfronde goot breed 0,60 m en diep 0,05 m bij een k-waarde 5 mm.



Het maximaal afwaterend oppervlak per kolk wordt beperkt tot 600 m²

$q = b \cdot i \cdot 10^{-4}$ l/s.m, waarin: b = wegbreedte in m
i = regenintensiteit in l/sec.ha

Figuur 3: Kolkafstanden als functie van het zijdelingse instroomdebiet q en de langshelling s voor een halfronde goot breed 0,70 m en diep 0,05 m bij een k-waarde 5 mm.



Het maximaal afwaterend oppervlak per kolk wordt beperkt tot 600 m²

$q = b \cdot i \cdot 10^{-4}$ l/s.m, waarin: b = wegbreedte in m
i = regenintensiteit in l/sec.ha

Figuur 4: Kolkafstand als functie van het zijdelingse instroomdebiet q en de langshelling s voor een rechthoekige goot breed 0,40 m en diep 0,05 m bij een k-waarde 5 mm (toepasbaar bij een toplaag van ZOAB).

Het getal van Reynolds kan als volgt worden berekend:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (-) \quad (4)$$

waarin:

v	= gemiddelde snelheid	(m/s)
D	= middellijn van de leiding	(m)
ν	= kinematische viscositeit van de vloeistof	(m ² /s)

De wandruwheid k is afhankelijk van het buismateriaal. De kinematische viscositeit is afhankelijk van de temperatuur van de vloeistof. Voor hemelwater van 10 °C is deze te stellen op $1,31 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Bij een waarde $Re < 2.300$ treedt een laminaire stroming op. Boven deze waarde is wel laminaire stroming mogelijk doch deze stromingsvorm is labiel en zal bij evenwichtsverstoring omslaan in turbulente stroming. De stroming van water door leidingen zal daarom altijd tubulent zijn.

De grootte van de wrijvingscoëfficiënt kan slechts door proberen worden gevonden. Bij de berekening van de wrijvingsweerstand voor een gegeven watertransport, kan dit bezwaar intussen worden ondervangen door gebruik van een grafiek, waarin λ direct als functie van het getal van Reynolds en van de reciproke waarde D/k van de relatieve wandruwheid kan worden afgelezen. Deze grafiek staat bekend als het zgn. White-Colebrook diagram en is weergegeven in figuur 5.

Voorts is in de figuren 6 en 7 het verband aangegeven tussen de afvoer Q en het verhang I bij een wandruwheid van $k = 1,5$ mm resp. 1,0 mm en de aangenomen kinematische viscositeit. Voor grafieken met andere k-waarden wordt verwezen naar het boek "Stromingsweerstand in leidingen" van Prof. Ir. L. Huisman (Uitgave van het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA).

In de figuren 8 en 9 zijn in tabelvorm de afvoeren van en de snelheden in geheel gevulde buizen voor diverse middellijnen aangegeven bij verschillende verhangen en een wandruwheid van 1,5 mm resp. 1,0 mm. Hiermede kan men in de ontwerpfase een middellijn kiezen.

Volgens de formule van Darcy-Weisbach bestaat geen rechtlijnig verband tussen het verhang $\Delta H/L$ enerzijds en de stroomsnelheid anderszijds. Vandaar dat interpolatie tussen de in de tabellen opgenomen waarden tot aanzienlijke afwijkingen aanleiding kan geven. Voor nauwkeuriger berekeningen wordt derhalve aangeraden van de grafieken gebruik te maken.

Opmerkingen:

1. Met de eenvoudig te bepalen factor voor de weerstand in de formule van De Chézy is een redelijke benadering te krijgen van de uitkomsten verkregen met de formule van Darcy-Weisbach.

De formule van De Chézy luidt als volgt:

$$Q = A \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (5)$$

waarin:

Q	= debiet	(m ³ /s)
A	= natte doorsnede	(m ²)
C	= Chézy-coëfficiënt	(m ³ /s)
R	= hydraulische straal	(m)
I	= verhang	(-)

De Chezy-coëfficiënt kan met de volgende formule worden bepaald:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{k} \quad (6)$$

waarin:

$$k = \text{wandruwheid van het buismateriaal} \quad (m) \quad (m)$$

2. Voor leidingen, waarvan de doorsnede afwijkt van de cirkelvorm, wordt verwezen naar het bovengenoemde boek "Stromingswaterstanden in leidingen". Met behulp van de daarin gegeven methode kunnen deze leidingen worden berekend.

Uitgangspunt hierbij is dat het onderzochte profiel wordt gekarakteriseerd door 2 parameters:

- de equivalente middellijn D_h van een geheel gevulde buis op basis van een gelijke hydraulische straal R , berekend volgens:

$$D_h = 4 \frac{A}{O} = 4 R \quad (7)$$

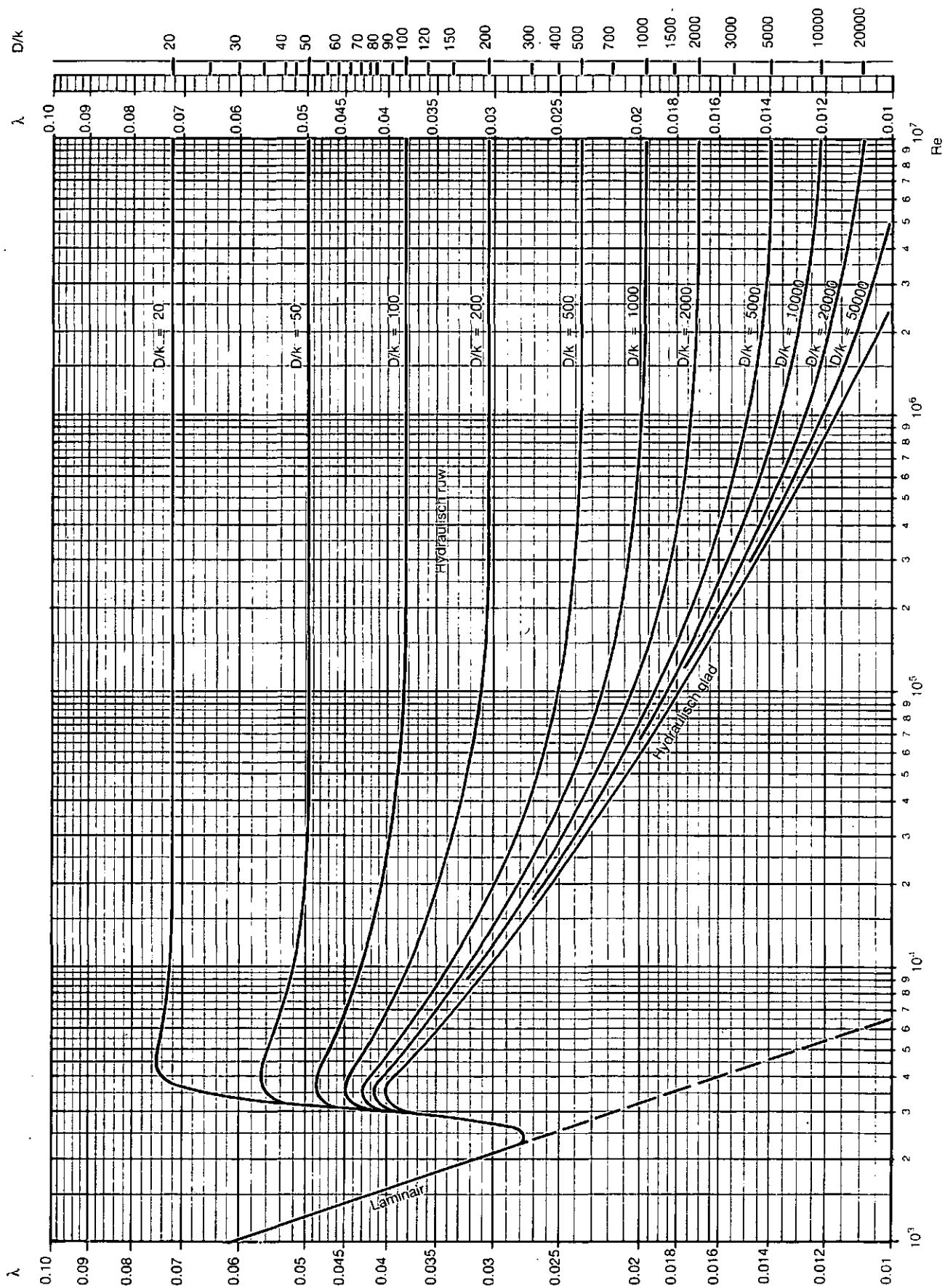
- de equivalente middellijn D_v van een geheel gevuld buis op basis van een gelijk nat oppervlak A , berekend volgens:

$$D_v = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (8)$$

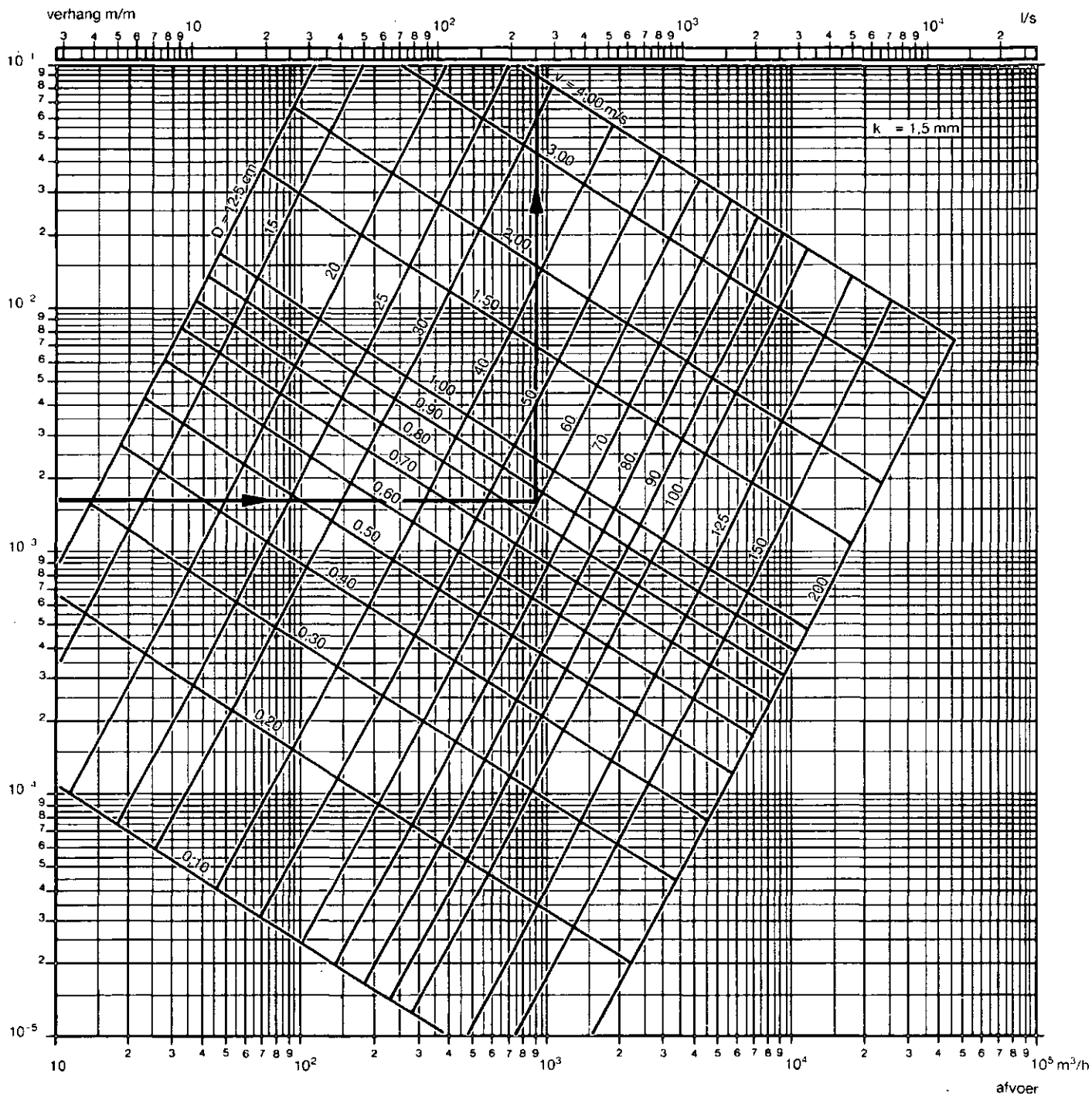
Als de wandruwheid en de viscositeit niet afwijken is het gezochte verhang I gelijk aan een verhang I_o dat in de grafieken kan worden afgelezen bij een afvoer

$$Q_o = \left[\frac{D_h}{D_v} \right]^2 \cdot Q$$

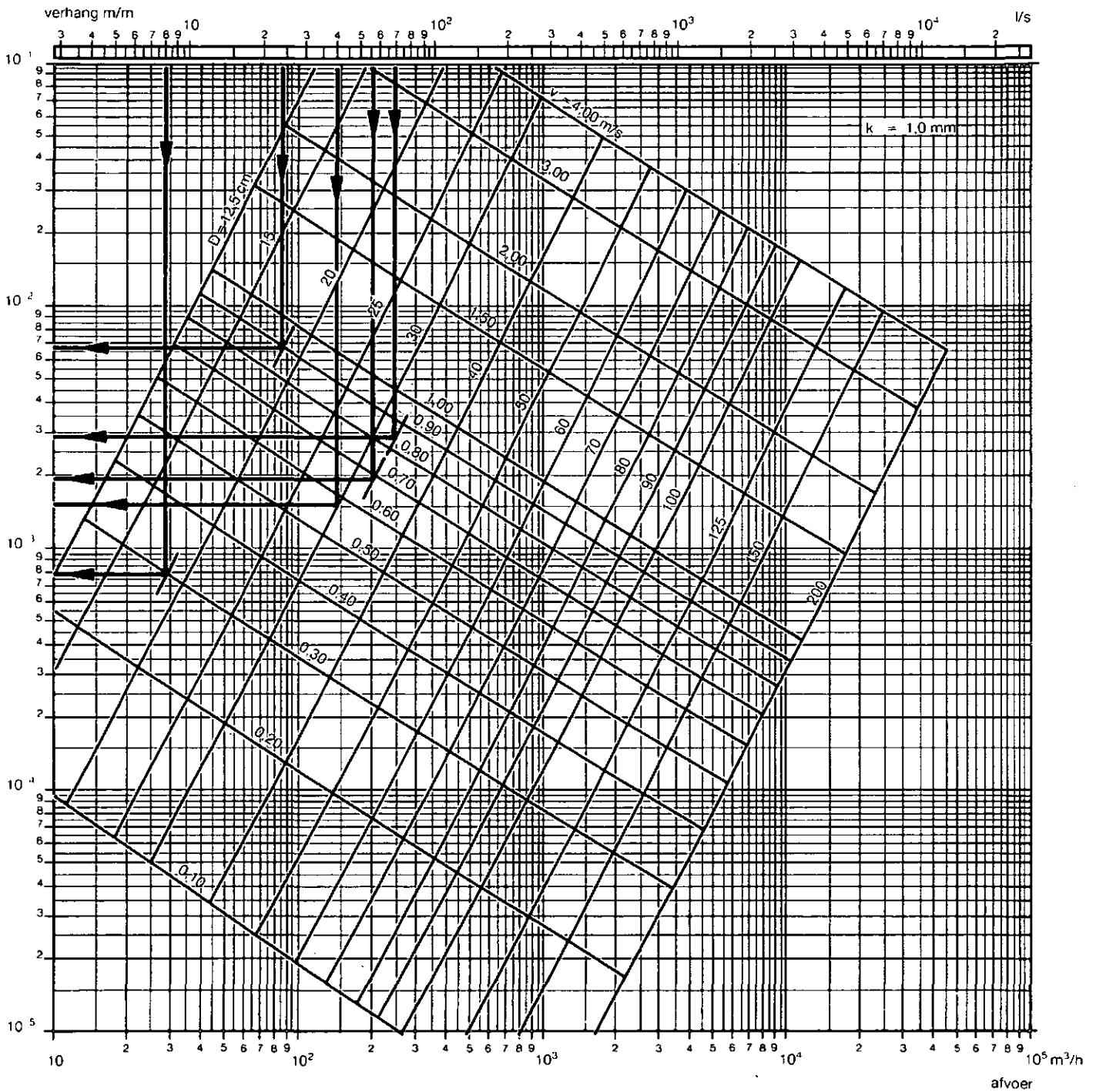
en een middellijn $D_o = D_h$.



Figuur 5: White-Colebrook diagram – waarden van de wrijvingscoëfficiënt λ als functie van het getal van Reynolds en de relatieve wandruwheid (volgens Colebrook).



Figuur 6: Wrijvingsweerstand in buisleidingen. De wandruwheid $k = 1,5 \text{ mm}$ en de kinematische viscositeit $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.



Figuur 7: Wrijvingsweerstand in buisleidingen. De wandruwheid $k = 1 \text{ mm}$ en de kinematische viscositeit $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

middellijn in mm	1:100		1:200		1:300		1:400		1:500		1:750		1:1000		1:1500		1:2000	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
120	9,5	0,77	6,7	0,54	5,4	0,44	4,7	0,38	4,2	0,34	3,4	0,28	2,9	0,24				
150	15,5	0,87	10,9	0,62	8,9	0,50	7,7	0,43	6,8	0,39	5,6	0,32	4,8	0,27	3,9	0,22		
200	33,3	1,06	23,5	0,75	19,1	0,61	16,6	0,53	14,8	0,47	12,0	0,38	10,4	0,33	8,5	0,27	7,3	0,23
250	60,3	1,23	42,6	0,87	34,7	0,71	30,0	0,61	26,8	0,55	21,8	0,44	18,9	0,38	15,3	0,31	13,2	0,27
300	98,0	1,39	69,1	0,98	56,4	0,80	48,7	0,69	43,5	0,62	35,5	0,50	30,7	0,43	25,0	0,35	21,5	0,30
400	210	0,67	148	1,18	121	0,96	105	0,83	93,5	0,74	76,2	0,61	65,8	0,52	53,6	0,43	46,3	0,37
500	379	1,93	268	1,36	218	1,11	189	0,96	169	0,86	138	0,70	119	0,61	96,9	0,49	83,7	0,43
600	613	2,17	433	1,53	353	1,25	306	1,08	273	0,97	223	0,79	193	0,68	157	0,56	136	0,48
700	921	2,39	651	1,69	531	1,38	459	1,19	410	1,07	335	0,87	289	0,75	236	0,61	204	0,53
800	1309	2,60	925	1,84	755	1,50	653	1,30	584	1,16	476	0,95	412	0,82	336	0,67	290	0,58
900	1785	2,81	1261	1,98	1029	1,62	890	1,40	796	1,25	649	1,02	562	0,88	458	0,72	396	0,62
1000	2355	3,00	1664	2,12	1358	1,73	1175	1,50	1050	1,34	857	1,09	741	0,94	604	0,77	523	0,67
1200	3803	3,36	2687	2,38	2193	1,94	1898	1,68	1697	1,50	1384	1,22	1197	1,06	976	0,86	845	0,75
1400	5700	3,70	4028	2,62	3287	2,14	2845	1,85	2543	1,65	2075	1,35	1795	1,17	1464	0,95	1267	0,82
1600	8091	4,02	5717	2,84	4666	2,32	4039	2,01	3611	1,80	2946	1,47	2549	1,27	2079	1,03	1799	0,89
1800	11017	4,33	7785	3,06	6353	2,50	5500	2,16	4917	1,93	4012	1,58	3472	1,36	2832	1,11	2450	0,96
2000	14519	4,62	10260	3,27	8373	2,67	7248	2,31	6481	2,06	5288	1,68	4576	1,46	3733	1,19	3230	1,03

Figuur 8: Geheel gevulde ronde buizen. Afvoer Q in l/s en snelheid v in m/s bij de vermelde verhangen voor k = 1,5 mm en $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (berekend met de formule van Colebrook).

middellijn in mm	1:100		1:200		1:300		1:400		1:500		1:750		1:1000		1:1500		1:2000	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
120	10,1	0,82	7,1	0,58	5,8	0,47	5,0	0,41	4,5	0,36	3,6	0,30	3,1	0,25	2,5	0,21		
150	16,5	0,93	11,6	0,66	9,4	0,53	8,1	0,46	7,3	0,41	5,9	0,33	5,1	0,29	4,1	0,23	3,6	0,20
200	35,4	1,13	24,9	0,79	20,3	0,65	17,5	0,56	15,7	0,50	12,7	0,41	11,0	0,35	8,9	0,28	7,7	0,24
250	64,0	1,30	45,1	0,92	36,8	0,75	31,8	0,65	28,4	0,58	23,1	0,47	19,9	0,41	16,2	0,33	14,0	0,28
300	104	1,47	73,2	1,04	59,6	0,84	51,5	0,73	46,0	0,65	37,5	0,53	32,3	0,46	26,3	0,37	22,7	0,32
400	222	1,77	157	1,25	128	1,02	110	0,88	98,6	0,78	80,3	0,64	69,4	0,55	56,4	0,45	48,7	0,39
500	400	2,04	282	1,44	230	1,17	199	1,01	178	0,91	145	0,74	125	0,64	102	0,52	88,0	0,45
600	647	2,29	456	1,61	372	1,32	322	1,14	288	1,02	234	0,83	203	0,72	165	0,58	142	0,50
700	970	2,52	685	1,78	558	1,45	483	1,26	432	1,12	352	0,91	304	0,79	248	0,64	214	0,56
800	1378	2,74	973	1,94	793	1,58	686	1,37	613	1,22	500	0,99	432	0,86	352	0,70	304	0,61
900	1877	2,95	1326	2,08	1081	1,70	935	1,47	836	1,31	681	1,07	589	0,93	480	0,75	415	0,65
1000	2475	3,15	1748	2,23	1426	1,82	1234	1,57	1103	1,40	899	1,14	777	0,99	633	0,81	547	0,70
1200	3993	3,53	2820	2,49	2300	2,03	1991	1,76	1779	1,57	1451	1,28	1255	1,11	1023	0,90	884	0,78
1400	5979	3,88	4223	2,74	3445	2,24	2982	1,94	2665	1,73	2173	1,41	1880	1,22	1532	1,00	1325	0,86
1600	8481	4,22	5991	2,98	4888	2,43	4230	2,10	3781	1,88	3084	1,53	2668	1,33	2175	1,08	1881	0,94
1800	11541	4,54	8153	3,20	6652	2,61	5757	2,26	5147	2,02	4198	1,65	3632	1,43	2961	1,16	2561	1,01
2000	15201	4,84	10739	3,42	8762	2,79	7584	2,41	6780	2,16	5530	1,76	4785	1,52	3901	1,24	3374	1,07

Figuur 9: Geheel gevulde ronde buizen. Afvoer Q in l/s en snelheid v in m/s bij de vermelde verhangen voor k = 1,0 mm en $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (berekend met de formule van Colebrook).

B.3 Gedeeltelijk gevulde buizen

De in 2 gegeven formules zijn afgeleid voor geheel gevulde cirkelvormige buizen. Daarnaast kan echter in een rioelstelsel een zodanige stromingstoestand heersen dat de riolen slechts gedeeltelijk gevuld zijn.

Indien de formules worden aangepast door het invoeren van de hydraulische straal in plaats van de middellijn van de buis, dan gelden deze voor eenparige stroming eveneens voor gedeeltelijk gevulde leidingen.

De hydraulische straal R is gedefinieerd als het quotiënt van de oppervlakte van het stromingsprofiel, de zgn. natte doorsnede, en de natte omtrek. Voor een geheel gevulde cirkelvormige buis geldt:

$$R = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 / \pi \cdot D = \frac{1}{4} D \text{ of } D = 4 R$$

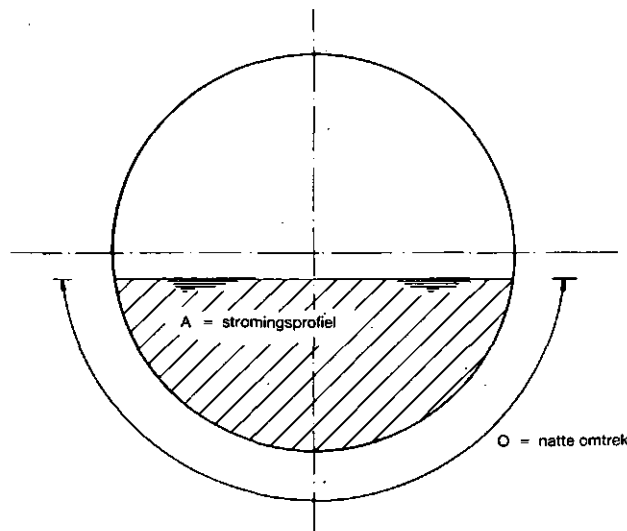
We vinden dan:

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{L}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{9}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{14.84 R} \right] \tag{10}$$

waarin:

- R = A/O = hydraulische straal (m)
- A = natte doorsnede (m²)
- O = natte omtrek (m)

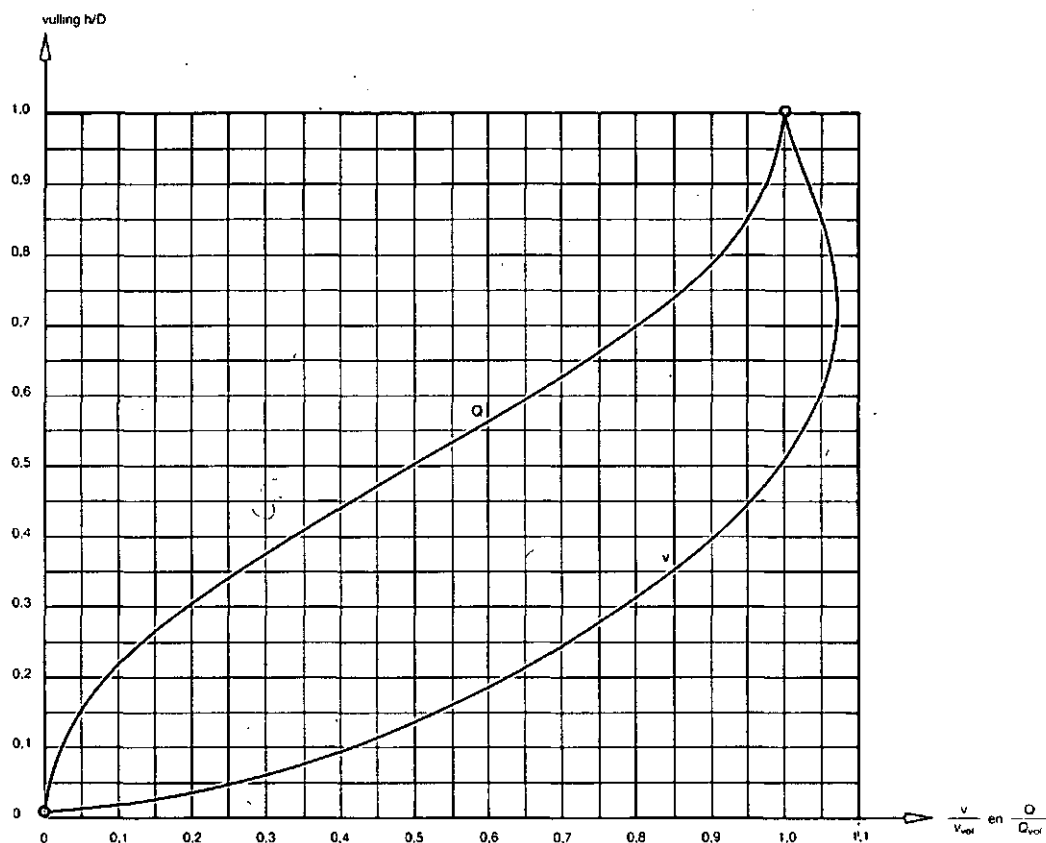


Figuur 10: Gedeeltelijke gevulde buis.

De berekening van het debiet bij een gegeven wrijvingsweerstand dient te worden uitgevoerd met behulp van een zogenaamd iteratief proces:

Q is een functie van λ , λ is een functie van Re , terwijl Re een functie is van Q .

In figuur 11 zijn het debiet en de stroomsnelheid in een gedeeltelijk gevulde buis weergegeven als functie van de vulhoogte.



Figuur 11: De verhouding van v/v_{vol} en Q/Q_{vol} in afhankelijkheid van de vulhoogte h/D (volgens Kirschmer).

In figuur 12 zijn in tabelvorm de vulhoogte en stroomsnelheid weergegeven als functie van het debiet.

Q/Q_{vol}	h/D	v/v_{vol}	R/D
0,100	0,211	0,65	0,1265
0,200	0,301	0,79	0,1714
0,300	0,374	0,88	0,2037
0,400	0,439	0,95	0,2291
0,500	0,500	1,00	0,2500
0,600	0,562	1,04	0,2681
0,700	0,626	1,06	0,2834
0,800	0,697	1,07	0,2958
0,900	0,786	1,07	0,3038
1,000	1,000	1,00	0,2500

- Q_{vol}, v_{vol} = afvoer en stroomsnelheid bij gehele vulling.
- Q, v = afvoer en stroomsnelheid bij gedeeltelijke vulling.
- h = waterdiepte
- D = middellijn
- R = hydraulische straal

Figuur 12: Hydraulische eigenschappen van cirkelvormige buizen (gebaseerd op de formule van Colebrook).

Opmerking:

Ook voor de gedeeltelijk gevulde buizen geldt hetgeen in 2 onder "opmerkingen" gesteld is ten aanzien van het gebruik van de formule van De Chézy en ten aanzien van afwijkende doorsneden.

B.4 Waterlopen

In de cultuurtechniek wordt nog vaak gebruik gemaakt van de formule van Manning/Strickler:

$$Q = A \cdot K_m \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (11)$$

waarin:

Q	= afvoer	(m ³ /s)
A	= natte doorsnede	(m ²)
K _m	= wandruwheid	(m ^{1/3} /s)
R	= hydraulische straal	(m)
I	= verhang	(-)

Naast het dimensioneren van watergangen op rekenkundige wijze kan ook gebruik worden gemaakt van grafieken, zoals bijv. het album "Grafieken ten dienste van de berekening van open waterlopen en daarin gelegen kunstwerken". Deze grafieken zijn ontleend aan de methodiek, welke door de sectie voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs en de studiekering voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Nederlands Genootschap voor Landbouwwetenschap is ontwikkeld en beschreven in het rapport "Richtlijnen voor het ontwerpen van open waterlopen en van sommige bijbehorende kunstwerken", uitgegeven in 1958 door Koninklijke Van Gorkum en Comp. N.V. te Assen.

Voor begroeide waterlopen wordt uitgegaan van de formule van Manning (11) en voor onbegroeide en beklede waterlopen van de Delftse formule:

$$Q = A \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot S} \quad (12)$$

waarin:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{K_D + \delta/4}$$

Het album met grafieken omvat:

- een algemene beschouwing over de berekeningen en een verklaring over het gebruik van de grafieken;
- 10 grafieken voor de K_m-waarde 30 en 40 van diverse enkelvoudige en geknikte belopen van 1:1 tot 1:4;
- een grafiek voor diverse belopen onafhankelijk van de K_m-waarde;
- 2 grafieken voor het berekenen van duikers, bruggen en stuwen.

Opmerking:

Waterlopen kunnen ook worden berekend volgens de in punt 2 (opmerking 2) vermelde methode van Prof. Ir. L. Huisman.

De hierbij te hanteren k-waarden zijn opgenomen in onderstaande tabel.

- rotsblokken of stenen:	afhankelijk van de onderlinge afstand 1 tot 2 maal de diameter van de stenen;
- effen korrelige grond:	diameter van de korrels;
- geribbelde zandbodem:	1½ tot 2 maal de ribbelhoogte;
- vlakke aarden wand (zeer schoon):	20 - 50 mm.
- grind:	10 - 50 mm.
- gezette steen:	5 - 20 mm.
- metselwerk:	0,5 - 5 mm.
- beton (bepleisterd):	0,2 - 0,5 mm.

Bij deze berekening wordt de waterloop beschouwd als een leiding met een doorsnede, afwijkend van de cirkelvorm.

C Rekenvoorbeelden

In deze bijlage worden de volgorde en de wijze van berekenen gegeven voor elk stelsel. Bij het rekenen wordt de loop van het water gevolgd en van elk onderdeel een hydraulische berekening uitgevoerd. De resultaten van de berekening van een onderdeel worden gebruikt bij de berekening van het daarop volgende onderdeel.

De gegeven berekeningsvoorbeelden betreffen de volgende onderdelen van het afvoerstelsel:

1. Kolkafstanden.
2. Kolkaansluitleidingen.
3. Riolen.
4. Waterloop.
5. Duiker.

Voor de in deze bijlage gehanteerde formules wordt verwezen naar bijlage B.

Voor de berekening is uitgegaan van de volgende gegevens:

- een weg, in een bocht gelegen, met twee gescheiden rijbanen, elk bestaande uit 2 rijstroken en een vluchtstrook;
- één van de rijbanen is uitgevoerd met tegenverkanting en watert af in een middenberm, smaller dan 20 m;
- de verhardingsbreedte, inclusief goot, bedraagt 12 m;
- de verhardingshoogte ter plaatse van de goot bedraagt NAP + 0,50 m;
- de langshelling is kleiner dan 0,2%;
- het riool kan worden aangesloten op een bermsloot van ca. 200 m, met een normale waterstand van NAP -1,20 m;
- voor de regenintensiteit is, ter beperking van de kans op verzadiging van de middenberm en wateroverlast op de redresseerstrook, gekozen 167 l/s.ha. De situatie is geschematiseerd weergegeven in figuur 1 van deze bijlage.

C.1 Berekening kolkafstand

De hoeveelheid hemelwater q per m^1 weg bedraagt

$$\frac{167 \text{ l/s.ha} \cdot 12}{10.000} = 0,2 \text{ l/s.m}$$

De benodigde kolkafstand kan dan bij de gegeven langshelling worden afgelezen uit figuur 2 van bijlage B.

Bij een langshelling $0 - 0,2\%$ wordt de benodigde kolkafstand afgelezen bij een lijn $S \leq 0,2\%$. De kolkafstand bedraagt dan ca. 24 m, welke blijft beneden de aanbevolen maximale kolkafstand van 40 m.

Bij een gevonden kolkafstand van meer dan 40 m kan worden overwogen een smallere goot toe te passen.

C.2 Berekening kolkaansluitleiding

De af te voeren hoeveelheid per kolk bedraagt: $0,2 \text{ l/s.m} \cdot 24 \text{ m} = 4,8 \text{ l/s}$. Volgens de tabel in figuur 8 van bijlage B zal bij het (gebruikelijke) verhang van 1:100 bij de gekozen kolkaansluitleiding PVC $\varnothing 125 \text{ mm}$ met een inwendige middellijn van 117,8 mm ca. 9 l/s (geëxtrapoleerd) onder buisverhang worden afgevoerd.

De capaciteit van de kolkaansluitleiding is dus voldoende.

C.3 Berekening riolen

De putafstanden worden aan de hand van de situatie bepaald. De putten worden daarbij geplaatst op kruispunten van riolen en voorts op regelmatige afstanden (met een max. van 80 - 100 m)

verdeeld over de betreffende rioollengte. Voor deze berekening is een afstand van 80 m aangenomen.

De op het riool geloosde hoeveelheid per putafstand bedraagt: $12 \text{ m} \cdot 80 \text{ m} \cdot 167 \text{ l/s} \cdot \text{ha} = 16 \text{ l/s}$. De af te voeren hoeveelheden per put zijn dus achtereenvolgens 0, 16, 32, 48 enz. l/s. (zie figuur 1 van deze bijlage). De af te voeren hoeveelheden per putafstand is het gemiddelde van de af te voeren hoeveelheden in de bovenstroomse en benedenstroomse put.

De hoogwaterlijn dient met een zekere veiligheid (bijv. 0,30 m) beneden het maaiveld te blijven en bedraagt derhalve max. $\text{NAP} + 0,50 \text{ m} - 0,30 \text{ m} = \text{NAP} + 0,20 \text{ m}$. Uitgaande van een waterstand in de sloot van $\text{NAP} - 1,20 \text{ m}$ is voor de hoogwaterlijn een verval van 1,40 m beschikbaar over een afstand van 425 m. Het beschikbare verhang van de hoogwaterlijn bedraagt derhalve

$$140 / 425 = 0,0033 \text{ d.w.z. } 1 : 300$$

Bij een niet rechtlijnig verloop van het maaiveld dient tussen de karakteristieke laagte- (en eventuele hoogte) punten met dezelfde veiligheid een gemiddelde verhanglijn per afstand te worden bepaald.

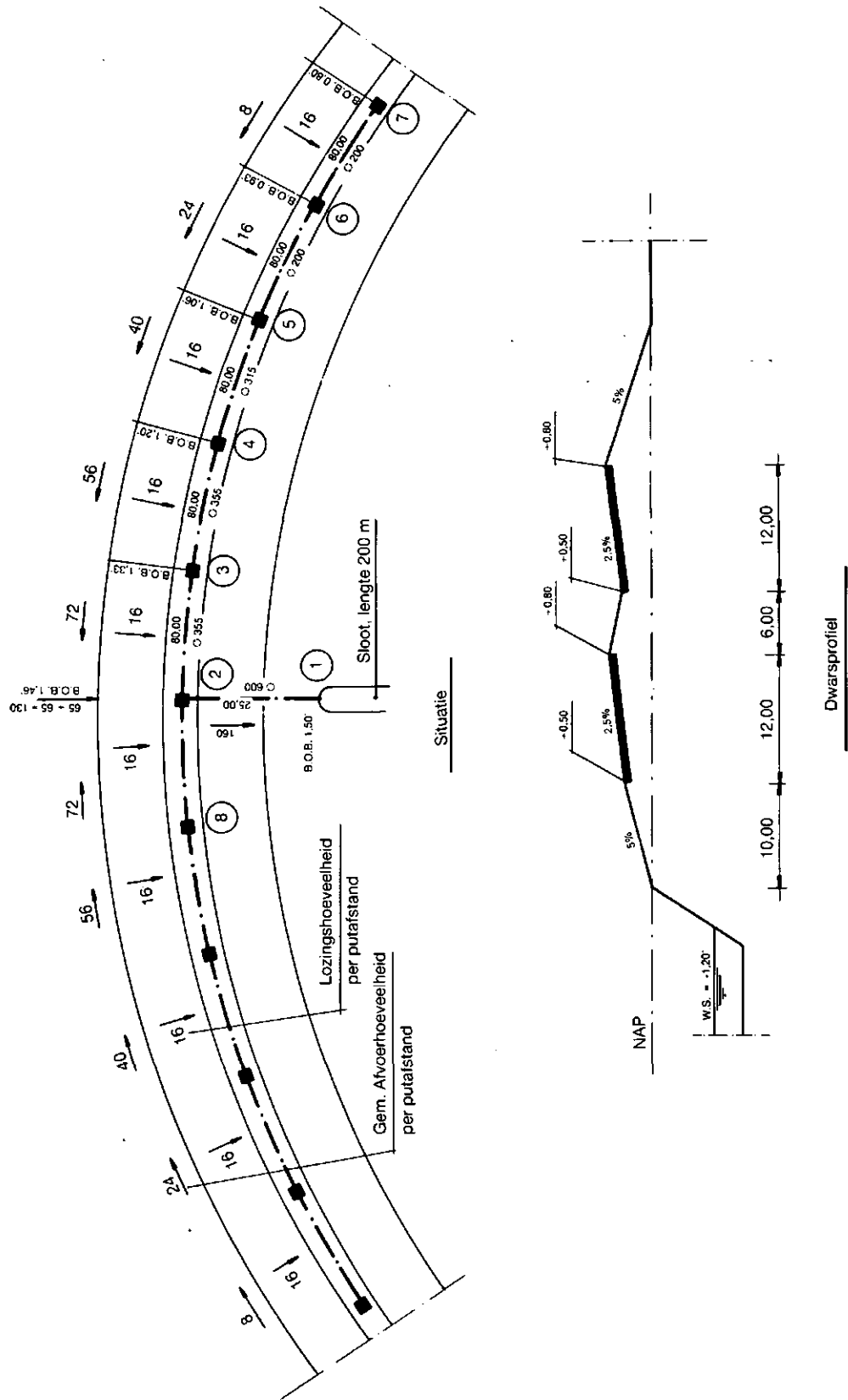
De hoogwaterlijn wordt, uitgaande van de waterspiegel van het ontvangende water, berekend vanaf het benedenstroomse einde.

In de ontwerpfase kan met behulp van de in bijlage B opgenomen figuren 8 en 9 voor de af te voeren hoeveelheid per putlengte een buismiddellijn worden geschat, waarvan het bijbehorende verhang het beschikbare verhang zoveel mogelijk benadert. Het exact volgen is niet mogelijk doordat gekozen moet worden uit standaardmiddellijnen; de ontworpen verhanglijn zal derhalve "rondom" de gemiddelde beschikbare verhanglijn zweven.

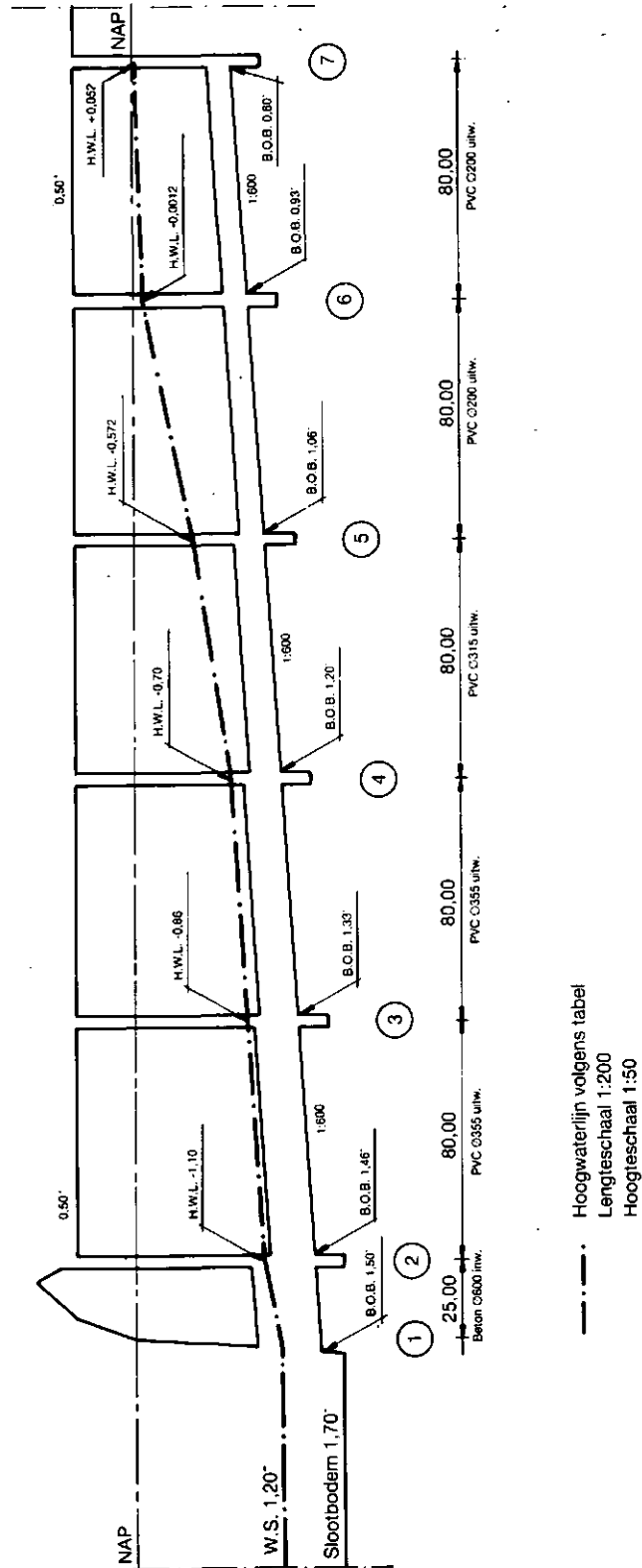
Vervolgens kan, uitgaande van de gekozen buismiddellijnen per putlengte, een controleberekening op de stijging van de hoogwaterlijn worden uitgevoerd met behulp van de grafieken in de figuren 6 ($k = 1,5 \text{ mm}$) en 7 ($k = 1 \text{ mm}$) van bijlage B. De keuze van de grafieken hangt af van de bij het buismateriaal behorende k-waarde.

De resultaten van de controleberekening zijn in onderstaande tabel weergegeven en bovendien schematisch aangegeven in figuur 2 van deze bijlage.

putnummer	afstand in meters	Q in l/s			profiel in mm	k-waarde in mm	vulling in %	verhang van de hoogwaterlijn	buisverhang	hoogteverschil in de hoogwaterlijn in m		hoogwaterlijn in m NAP	opmerkingen		
		lozing per putafstand	af te voeren per put	af te voeren gemiddeld per putafstand						per putafstand	totaal				
7	80	16	0	8	200 uitw.	1	100	0,0008		0,064	1,152	+ 0,052	3		
6			16	24	200 uitw.	1	100	0,007		0,56	1,088	- 0,012			
5			32	40	315 uitw.	1	100	0,0016		0,128	0,528	- 0,572			
4			48	56	355 uitw.	1	100	0,002		0,160	0,400	- 0,70			
3			64	72	355 uitw.	1	100	0,003		0,240	0,240	- 0,86			
2			80	80										- 1,10	2
uit put 8			80												
1			25	-	160	600 inw.	1,5	75			0,00166				- 1,20



Figuur 1: Geschematiseerde situatie en dwarsprofiel met afvoerhoeveelheden.



Figuur 2: Lengteprofiel afvoerstelsel met hoogwaterlijn.

Wanneer de hoogwaterlijn boven het maaiveld minus de dekking van 0,30 m stijgt zal deze moeten worden verlaagd. Voor de riolering of een deel hiervan, afhankelijk van de mate waarmee de hoogwaterlijn moet zakken, zullen grotere middellijnen voor de buizen moeten worden genomen. Anderzijds zal wanneer de dekking op de hoogwaterlijn groot is door het toepassen van kleinere buizen de hoogwaterlijn stijgen, waardoor het beschikbaar verval beter wordt benut.

Opmerkingen:

1. De bij het buisverhang van 0,00166 behorende debiet bij een geheel gevulde leiding bedraagt $Q_{vol} = 250$ l/s (af te lezen uit figuur 6 van bijlage B).
De af te voeren hoeveelheid bedraagt $Q = 160$ l/s, zodat de leiding gedeeltelijk gevuld blijkt te zijn.
De verhouding van Q/Q_{vol} is $160:250 = 0,64$. Uit figuur 11 van bijlage B, punt 3 leest men de vulhoogte in % = 60 af.
2. De hoogwaterlijn in knooppunt 2 wordt gevonden door de waterdiepte in de leiding (60% van 0,60 m = 0,36 m) op te tellen bij de binnenonderkant van de leiding: $NAP - 1,46 + 0,36 = NAP - 1,10$ m (zie lengteprofiel – figuur 2 van deze bijlage).
De gevonden hoogwaterlijn ligt hoger dan de binnenbovenkant van de aansluitende leiding $\varnothing 355$ mm, welke dus als geheel gevulde leiding moet worden berekend.
3. Bij knooppunt 7 ligt de hoogwaterlijn (NAP + 0,052) ca. 0,448 m beneden het maaiveld (NAP + 0,50) zodat voldaan wordt aan de verlangde dekking van min. 0,30 m.

C.4 Berekening waterloop

Het rioelstelsel mondt uit in een waterloop. Afhankelijk van de omvang van het stelsel kan de kwantiteitsbeheerder van het oppervlaktewater eisen stellen aan de maximale afvoerhoeveelheid door de waterloop. Bij overschrijding van deze hoeveelheid dient de meerdere aanvoer tijdelijk te worden geborgen. Onder C.4.1 wordt uitgegaan van een ongelimiteerde afvoer en vervolgens wordt onder C.4.2 berekend de ten gevolge van een gelimiteerde afvoer vereiste bergingscapaciteit van de waterloop.

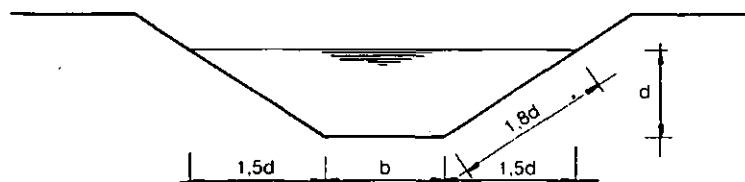
In het rekenvoorbeeld zijn voor de waterloop de volgende aannamen gedaan:

- afwaterende oppervlakte: totaal ca. 11 ha, waarvan 0,96 ha via het rioelstelsel versneld afwaterend op het oppervlaktewater;
- dimensies waterloop:

lengte	200 m
bodembreedte	0,7 m
taluds	1:1,5
bodemhelling	0,25%
wandruwheid K_m	$30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

C.4.1 Ongelimiterde afvoer

Totale afvoer verhard oppervlak:	160 l/s
"Landelijke" afvoer: 10 ha · 2 l/s.ha:	20 l/s
	180 l/s = 0,18m ³ /s
Totale afvoer Q	



De berekening van het profiel wordt uitgevoerd met de formule van Manning (11):

$$Q = A \cdot K_m \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$Q = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = d \cdot (b + 1,5 d) = bd + 1,5 d^2$$

$$R = \frac{A}{O} = \frac{bd + 1,5 d^2}{b + 3,6 d}$$

$$K_m = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$I = 0,00025 \text{ (-)}$$

$$b = 0,7 \text{ m}$$

$$0,18 = (0,7 d + 1,5 d^2) \cdot 30 \cdot \left[\frac{0,7 d + 1,5 d^2}{0,7 + 3,6 d} \right]^{2/3} \cdot 0,00025^{1/2}$$

$$\sqrt[3]{\frac{(0,7 d + 1,5 d^2)^5}{(0,7 + 3,6 d)^2}} = \frac{0,18}{30 \cdot 0,00025^{1/2}} = 0,379$$

Voor $d = 0,55 \text{ m}$ klopt de vergelijking.

Uitgaande van een waterstand van NAP -1,20 van het oppervlaktewater moet de slootbodem op NAP -1,75 m komen.

Naast de analytische methode kan de waterdiepte worden bepaald met behulp van de aan de formule van Manning ontleende grafieken (zie bijlage B, punt 4) overeenkomstig figuur 3 van deze bijlage. Voor het gebruik van de grafieken wordt verwezen naar de bij het album met grafieken behorende toelichting.

C.4.2 Gelimiteerde afvoer

De kwantiteitsbeheerder van het oppervlaktewater gaat voor de berekening van het waterlopenstelsel uit van een "landelijk" afvoerhoeveelheid, die met een bepaalde frequentie overschreden mag worden. In het rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van een "landelijke" afvoer van 2 l/s.ha met een overschrijdingskans van 1x per 5 jaar.

De voor het rioolstelsel beschikbare afvoercapaciteit bedraagt derhalve $2 \text{ l/s.ha} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mm/s} = 0,72 \text{ mm/h}$.

Voor de berging "op straat" wordt 2 mm aangenomen.

De benodigde berging is afhankelijk van de voor deze situatie maatgevende regenbui met betrekking tot regenintensiteit en regenduur. Deze bui kan worden bepaald met behulp van de grafiek met de regenkrommen van Braak (zie figuur 4 van deze bijlage).

Hiertoe wordt in de grafiek uitgezet:

- de berging op straat (2 mm) d.w.z. de hoeveelheid hemelwater die niet tot afstroming komt in het rioolstelsel b.v. door bevochtiging, verdamping, plasvorming in rijsporen enz.;
- de afvoerlijn, zijnde de toegestane afvoercapaciteit van 0,72 mm/h, welke wordt gesupponeerd op de berging op straat (in de grafiek is hiertoe uitgezet 7,2 mm/10 h).

De voor de maximaal benodigde berging maatgevende bui wordt gevonden door het raakpunt A te bepalen van de regenkromme met de verlangde overschrijdingskans $T = 5$ jaar met een rechte, evenwijdig aan de afvoerlijn.

De benodigde berging wordt aangegeven door een vertikaal lijnstuk vanuit het raakpunt A tot de afvoerlijn; de lengte in mm, vermenigvuldigd met de factor $10 F_v$ (verhard oppervlak in ha) levert de benodigde berging in m^3 op. Voor een herhalingskans $T = 5$ jaar bedraagt deze derhalve:

$$26,5 \text{ mm} \cdot 10 \cdot (800 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 0,96 \text{ ha}) = 255 \text{ m}^3.$$

De berging kan worden gevonden in een peilstijging d_2 van:

$$255 \text{ m}^3 = d_2 \cdot (2,35 + d_2) \cdot 200 \text{ m}.$$

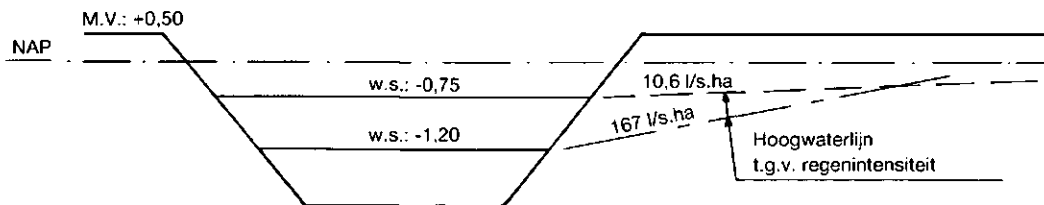
Hieruit volgt $d_2 = \text{ca. } 0,45 \text{ m}$.

De waterstand stijgt dan van NAP $-1,20 \text{ m}$ tot NAP $-0,72 \text{ m}$.

De regenintensiteit van deze bui wordt weergegeven door een rechte tussen het raakpunt A en de oorsprong O.

Voor de herhalingskans $T = 5$ jaar bedraagt deze derhalve $35 \text{ mm}/550 \text{ min.} = \text{ca. } 0,0106 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$
 $= 10,6 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$.

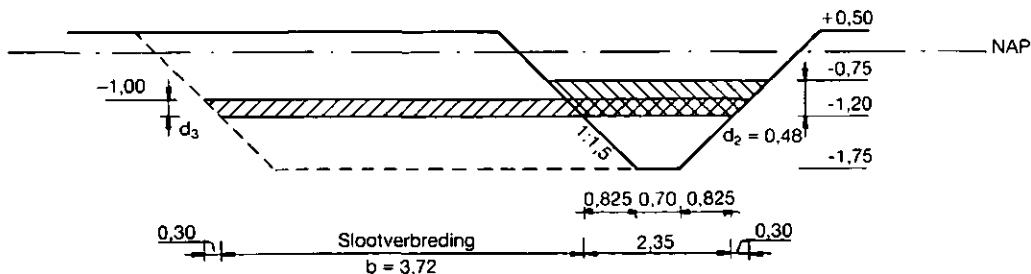
De combinatie van peilstijging tot NAP $-0,75$ in de waterloop en de hoogwaterlijn in het riool ten gevolge van de bij de peilstijging behorende maatgevende bui met een intensiteit van $10,6 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ zal voor de dekking op de hoogwaterlijn niet maatgevend blijken te zijn. Dit komt omdat de hoogwaterlijn bij een bui met een intensiteit van $10,6 \text{ l/s}$. aanzienlijk minder oploopt dan bij voor de berekening van de riolen gehanteerde bui van $167 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ (zie punt 3 van deze bijlage). Met de bui van $10,6 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ kan bij gevulde berging een controle-berekening worden uitgevoerd naar de ligging van de hoogwaterlijn bij die bui.



Wanneer uit andere overwegingen (b.v. wegbouwkundige of landbouwkundige belangen) de maximale waterstand beperkt moet worden tot b.v. NAP $-1,00$ kan bij de hieruit volgende peilstijging $d_3 = 0,20 \text{ m}$ de tekortkomende berging worden gevonden in een slootverbreding of het aanleggen van een bassin.

$$255 \text{ m}^3 = 2,35 + b + (2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,30 \text{ m}) \cdot 0,20 \text{ m} \cdot 200 \text{ m}$$

hieruit volgt een verbreding $b = 3,72 \text{ m}$

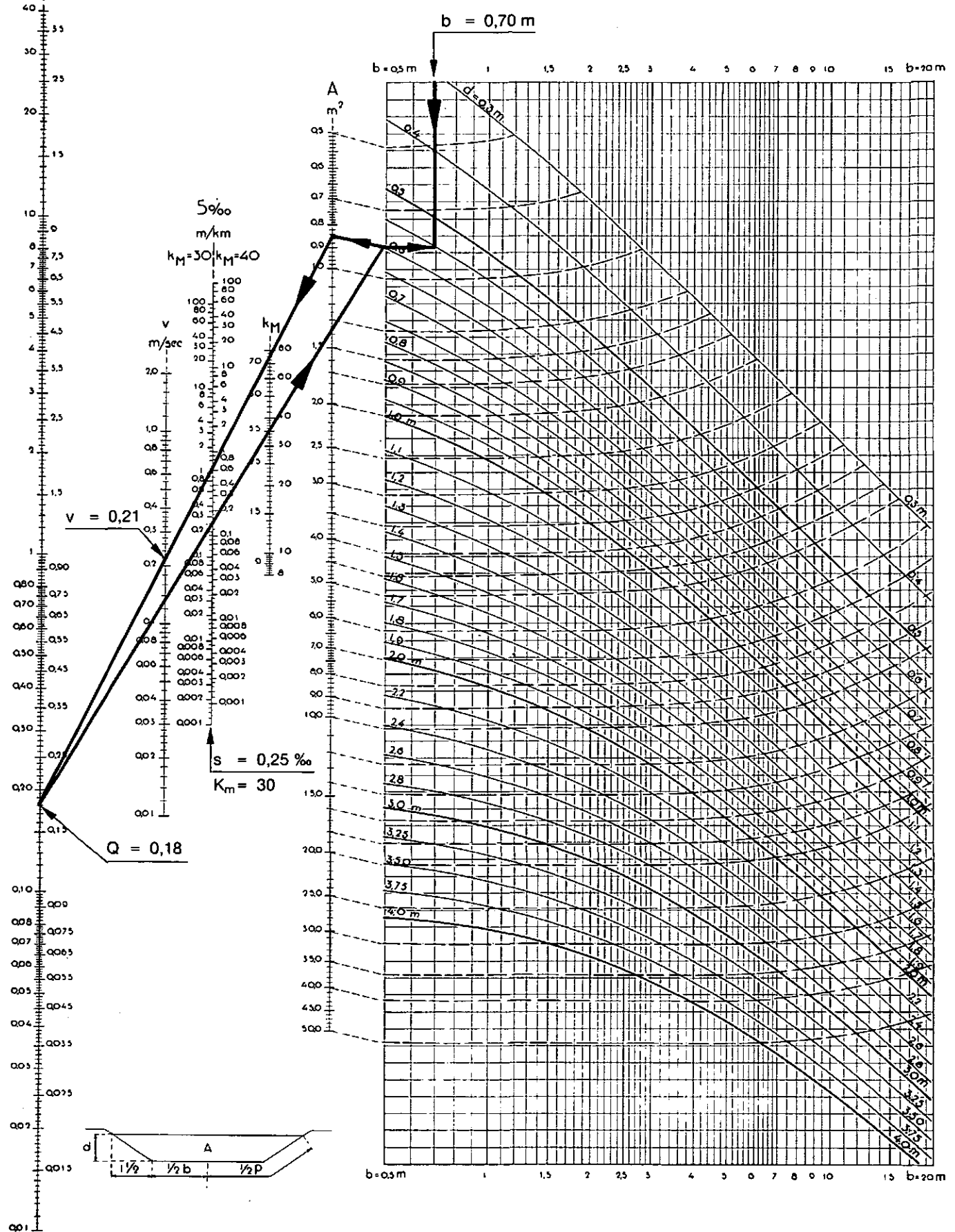


$S\text{‰}$, Q
m/km m³/sec.

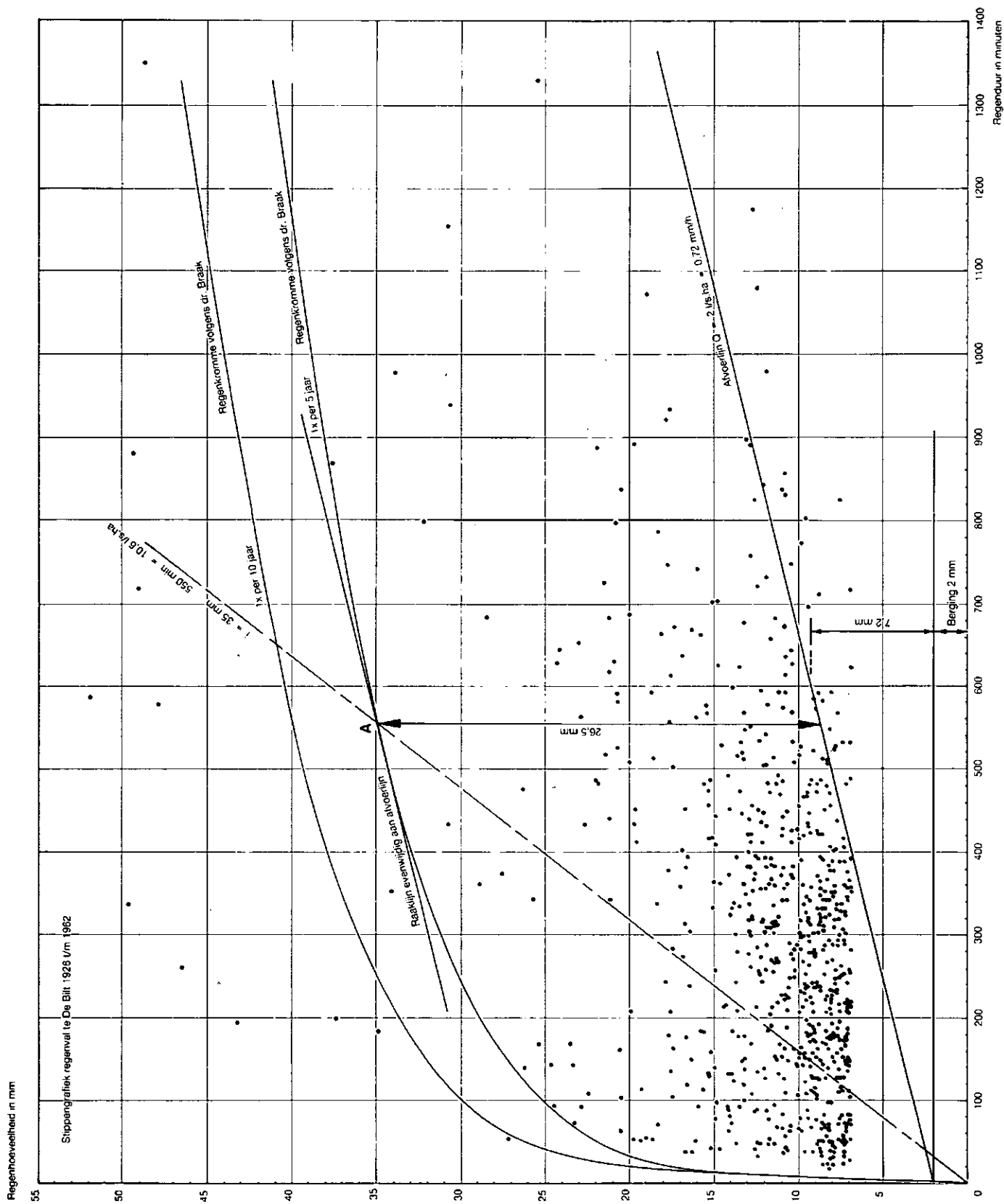
BELOPEN

INCLINAISON DE TALUS
SIDE-SLOPE
BOSCHUNGSMEIGUNG

1 : 1½



Figuur 3: Grafische bepaling waterdiepte (grafiek uit "Grafiek ten dienste van de berekening van open waterlopen en daarin gelegen kunstwerken").



Figuur 4: Bepaling benodigde berging.

C.5 Berekening duikers

De in de waterloop voorkomende duikers worden berekend op de afvoercapaciteit van de waterloop. Uit deze afvoercapaciteit en de gekozen duikermiddellijn kan het verval van de hoogwaterlijn worden berekend. Afhankelijk van de situatie worden de duikers beschouwd als geheel of gedeeltelijk gevulde buizen. In tegenstelling tot de berekening van het verval van de hoogwaterlijn in een rioelstelsel wordt bij, met name zeer korte zinkers, onderscheid gemaakt in vertragsingsverliezen (in- en uittreeverliezen) en wrijvingsverliezen. Voor de te gebruiken formules wordt verwezen naar bijlage B.

Daarnaast kan een duiker worden gebruikt voor het beperken van de doorvoercapaciteit en een kunstmatige verhoging van de waterstand vóór de duiker ten behoeve van het verkrijgen van berging.

In het navolgende rekenvoorbeeld wordt de middellijn bepaald van een duiker, die de onder punt C.4.2. verlangde waterstandsverhoging van 0,20 m veroorzaakt. Uitgaande van een zeer korte duiker kan het wrijvingsverlies worden verwaarloosd en kunnen de vertragsingsverliezen (in- en uittreeverliezen) worden bepaald met de aan de literatuur ontleende formules:

$$Q = \mu \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

$$Q = 2 \text{ l/s} \cdot \text{ha} \cdot 11 \text{ ha} = 22 \text{ l/s} = 0,022 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\mu = 0,8 \text{ (in- en uittreeverliezen bij rechte beëindiging van de duiker).}$$

$$z = 0,20 \text{ m (verval in hoogwaterlijn)}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

$$\text{Uit } 0,022 = 0,8 A \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,20} \text{ volgt } A = 0,01375 \text{ m}^2.$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \rightarrow D = 0,132 \text{ m}.$$

De uit de berekening voortvloeiende geringe doorsnede kan tot verstoppingen leiden. Als alternatief kan gedacht worden aan een (regelbare) stuw, een stuw met doorlaatopening of een pompgemaal.

D Titels van de te raadplegen normen en overige publicaties

D.1 Goten

- NEN 7000 - Betonstraatstenen.
- NEN 7014 - Betontegels.
- NEN 7015 - Trottoir- en opsluitbanden van beton.

D.2 Kolken

- N130 - Rioleringsonderdelen. Gietijzeren straatkolkroosters en trottoirdeksels. Gietijzeren inlaatstuk met stalen rooster (in herziening).
- N131 - Rioleringsonderdelen. Betonnen bakken voor straat- en trottoirkolk (klein model) (in herziening).
- N133 - Rioleringsonderdelen. Gietijzeren inlaatstukken (in herziening).
- NEN 7057 - Kolken, samengesteld uit kunststof en andere materialen. Eisen en beproevingsmethoden.
- NEN 7067 - Kolken. Definities, nominale afmetingen en functionele eisen
- NEN 7068 - Kolken samengesteld uit beton en gietijzer. Eisen en beproevingsmethoden (in voorbereiding).
- NEN 7083 - Kolken. Gietijzeren roosters, deksels en randen. Eisen en beproevingsmethoden (in voorbereiding).
- NEN-EN 124 - Roosters en deksels voor putten en kolken voor buitenriolering. Eisen, typebeproeving, merken.

D.3 Buizen van beton

- NEN 3261 - Ronde buizen van gewapend beton (in herziening).
- NEN 7025 - Ronde buizen van ongewapend beton met rubberringverbinding (in herziening).
- NEN 7060 - Instortmoffen van ongeplasticiseerd PVC voor ronde rioolbuizen van ongewapend of gewapend beton.
- NEN 7101 - Buizen en hulpstukken van gewapend beton met plaatstalen kern. Eisen, beproevingsmethoden en berekeningsgrondslagen (in voorbereiding).

D.4 Buizen van PVC

- NEN 7029 - Buizen en dubbele moffen van ongeplasticiseerd PVC voor rioolpersleidingen (in herziening).
- NEN 7045 - Buizen van ongeplasticiseerd PVC voor binnen- en buitenrioleringen (in herziening).
- NEN 7046 - Hulpstukken van ongeplasticiseerd PVC voor binnen- en buitenriolering (in herziening).
- NEN 7088 - Aansluitstukken van ongeplasticiseerd polyvinylchloride (PVC) voor buitenrioleringen van ongeplasticiseerd polyvinylchloride (in voorbereiding).
- NEN 7108 - Bochten vervaardigd en waterleidingbuizen van ongeplasticiseerd PVC.
- KIWA-kwaliteitseisen 49 - Waterleiding van ongeplasticiseerd PVC.
- KIWA-kwaliteitseisen 53 - Dubbele moffen en hulpstukken van ongeplasticiseerd PVC voor waterleidingbuizen.
- KIWA-kwaliteitseisen 71 - Trekvaste dubbele moffen bestemd voor waterleidingbuizen van ongeplasticiseerd PVC (in herziening als ontwerp-NEN 7107).

D.5 Buizen van PE-HD

- KIWA-kwaliteitseisen 48 - Waterleidingbuizen van polyetheen.

D.6 Rubberringen

- NEN 7103 – Rubberringen voor verbindingen in drinkwater- en afvalwaterleidingen.

D.7 Rioolputten

- NEN 2489 – Metselbaksteen.
 NEN 3835 – Metselmortels voor metselwerk van stenen of blokken van baksteen, kalkzandsteen, beton of natuursteen.
 NEN 7035 – Betonnen rioolputten en rioolputbuizen.

D.8 Putranden en deksels

- N 352 – Rioleringsonderdelen. Vierkante gietijzeren rioolputrand met rond gietijzeren deksel (in herziening).
 N 353 – Rioleringsonderdelen. Vierkante gietijzeren rioolputrand met vierkant gietijzeren deksel (in herziening).
 NEN-EN 124 – Roosters en deksels van putten en kolken voor buitenriolering. Eisen, typebeproeving, merken.

D.9 Heipalen

- NEN 5491 – Kwaliteitseisen voor hout (KVH 1980). Heipalen. Europees naaldhout.
 NEN 7053 – Betonnen heipalen.

D.10 Duikers

- NEN 7031 – Rechthoekige duikerelementen van gewapend beton.
 NEN 7063 – Duikerelementen van spiraalgegotd plaatstaal. Eisen en beproevingsmethode.
 NEN 7064 – Duikerelementen van spiraalgegotd plaatstaal, meerplaatige systemen. Eisen en beproevingsmethode.

D.11 Afscheiders en bezinkputten

- DIN 1999 – Abscheiders für leichte Flüssigkeiten. Benzinabscheider, Hausöllabscheider.
 DIN 4040 – Vettabscheider. Bangrundsätze.
 DIN 4041 – Vettabscheider. Einbau, Größe und Schlammfänge.
 DIN 4043 – Sperren für leichte Flüssigkeiten. Heizöllsperrern.
 DIN 7087 – Vetabscheiders en slibvangputten (in voorbereiding).

D.12 Aanleg

- NPR 3218 – Buitenriolering onder vrij verval. Aanleg en onderhoud.
 NPR 3221 – Buitenriolering onder over- en onderdruk. Ontwerpcriteria, aanleg en onderhoud.
 NPR 7061 – Aanleg van rioolpersleidingen van ongeplasticiseerd PVC.

D.13 Overige normen alsmede publicaties samenhangend met de aanleg van buitenrioleringen

- NEN 1184 – Aanwijspaten voor brandkranen en toestellen in water, gas- en stadsverwarmingsleidingnetten en voor riolering.
- NEN 1738 – Plaats van leidingen en kabels in wegen buiten de behoude kom.
- NEN 3219 – Buitenriolering. Aanduidingen op tekeningen (in voorbereiding).
- NPR 3220 – Buitenriolering. Beheer.
- NEN 3300 – Buitenriolering. Benamingen (in voorbereiding).

Deelcatalogus Rioleringen (uitgave: Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en in de Verkeerstechniek (C.R.O.W.), Ede).

KOMO-gids (uitgave: KOMO, Rijswijk (ZH)).

Aanbevelingen tot het voorkomen van beschadigingen aan ondergrondse leidingen (uitgave: Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (WEVIN), Rijswijk (ZH)).

