

Inleiding

Bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders wordt al geruime tijd onderzoek verricht naar de relatie tussen neerslag en afvoer in het stedelijke gebied met als doel het optimaliseren van de afvoernormen voor de riolering, het open water en het drainage-systeem. Voor dit onderzoek zijn in Lelystad twee meetgebieden ingericht; het Noorderwagenvlein – een parkeerplaats – en Pampus-Blokkerhoek – een woonwijk. In die gebieden worden de neerslag, de regenwater-rioolafvoer, de grondwaterstand en de



C. H. VAN DAM
Rijksdienst voor de
IJsselmeerpolders

drainageafvoer continu met een datalogging systeem gemeten.

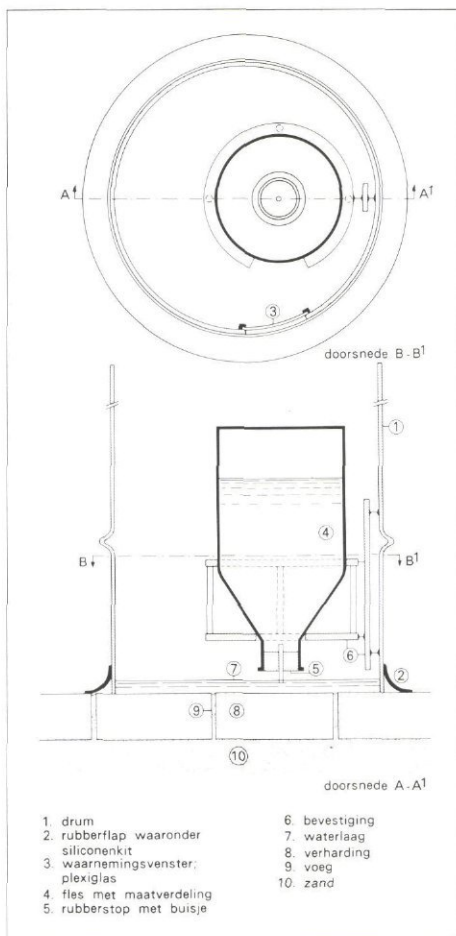
Uit waterbalansen voor het Noorderwagenvlein – gebaseerd op deze waarnemingen – blijkt, dat van het bijna volledig verharde oppervlak van het parkeerterrein zo'n 35 procent van de neerslag door het drainagestelsel – dus via de ondergrond – wordt afgevoerd. Er infiltreert dus een belangrijk deel van de neerslag in de bestrating van het parkeerterrein. De vaak gehanteerde afvoercoëfficiënt van 0,8 lijkt nog aan de hoge kant. Een preciezer afvoerpercentage is te geven als de infiltratiecapaciteit van de bestrating bekend is. Om deze reden is een onderzoek naar het vochtindringingsproces bij de verschillende verhardingstypen op het Noorderwagenvlein uitgevoerd. In dit artikel wordt verslag gedaan van het verrichte onderzoek.

Het onderzoeksgebied

Het Noorderwagenvlein is sinds 1970 als parkeerterrein in gebruik; is ongeveer 0,7 hectare groot en is voor 99 procent verhard. Op het terrein zijn vier verhardingstypen te onderscheiden. In tabel I is aangegeven welke oppervlakte elk beslaat. De onverharde oppervlakte bestaat voornamelijk uit ademruimte voor 16 iepenbomen, die op de middenstroken van het parkeerterrein staan. Het profiel van de ondergrond van het parkeerterrein bestaat

TABEL I - De relatieve oppervlakte van de verschillende verhardingstypen op de parkeerplaats.

	opp. percentage:
asfalt	44
koperslakkeien (20x20x8 cm)	19
stoeptegels (50x50x6 cm)	24
grijze betonklinkers (20x10x7 cm)	12
het onverharde oppervlak	1
Totaal	100



Afb. 1 - Infiltrameter voor verharde oppervlakken.

uit een kunstmatig opgebrachte zandlaag van ongeveer 0,90 m dik en een U-cijfer van 50, waaronder de oorspronkelijke zeebodem van de polder ligt, die voornamelijk bestaat uit klei en leem.

De grondwaterstand van het Noorderwagenvlein schommelt rond de 0,80 m beneden maaiveld.

De opzet van de metingen

Voor de infiltratiemetingen is een aangepaste infiltrameter gebruikt (afb. 1). De ring is vervangen door een drum, waaraan een rubber flap is bevestigd, die op de verharding wordt vastgekit. De voegen, onder de flap, worden van te voren leeggeschrapt en volgespoten met kit om zijdelings wegstromen van het water te voorkomen. In de drum wordt een decanteerfles geplaatst, waarvan de uitstroomtuit ca. 1 cm boven het straatoppervlak staat.

Naast verticale infiltratie zal ook horizontale infiltratie optreden. Omdat alleen de verticale infiltratie van belang is, moet de horizontale infiltratie door middel van correcties geëlimineerd worden [Hills, 1971]. Om inzicht te krijgen in hoeverre en volgens welk patroon horizontale infiltratie optreedt, is bij enkele metingen kleurstof aan het infiltraat toegevoegd. Na de meting kon,

door het kleurstofpatroon op te graven, de vordering van de infiltratie op de verschillende diepten worden achterhaald. Verspreid over het gehele parkeerterrein zijn in totaal 20 infiltratiemetingen verricht.

Correcties op de meetresultaten

De infiltratiemetingen kunnen door een aantal zaken zijn beïnvloed en moeten waar nodig worden gecorrigeerd. De metingen kunnen beïnvloed zijn door:

- verdamping
- bevochtiging of invochtiging van het verharde oppervlak
- zijdelingse infiltratie onder de verharding
- een verschil tussen het percentage aan voegen bij de meting en het gemiddelde percentage aan voegen voor de onderhavige bestrating.

De verdamping wordt, gezien de gemiddelde tijdsduur van de metingen en gezien de opgetreden infiltratiesnelheden verwaarloosd. Met de overige genoemde invloeden moet wel rekening worden gehouden. De hiervoor toegepaste correcties worden hieronder behandeld.

Invochtiging van het verharde oppervlak

Aan het begin van een meting, bij onverzadigde toestand, vindt absorptie of invochtiging van de verharding plaats. Voor de grijze betonklinkers, de stoeptegels en de koperslakkeien zijn daartoe in het laboratorium absorptieproeven gedaan. De stenen werden voor de helft in een waterbad gelegd, nadat ze enige dagen bij kamertemperatuur waren gedroogd. Hierna werden de stenen om de vijf minuten tot in grammen nauwkeurig gewogen. Uit de proeven bleek de absorptie als volgt te zijn:

Koperslakkeien : 0,85 mm in 15 min.

Betonklinkers : 0,5 mm in 10 min.

Stoeptegels : 0,5 mm in 10 min.

Horizontale infiltratie

De zijdelingse wegzijging of horizontale infiltratie neemt toe, naarmate de infiltratie voortduurt. Een min of meer exacte correctie voor iedere waarneming bij een meting vergt nauwkeurige onderzoeken tijdens de proef [Hills, 1971]. Aangezien tijdens de metingen geen onderzoek naar horizontale infiltratie mogelijk is, omdat dan de infiltratiemeting verstoord zou worden, is gebruik gemaakt van een benaderende lineaire correctie, gebaseerd op het aangetroffen kleurstofpatroon bij de opgegraven metingen.

Voegoppervlakte

Om vergelijkbare meetgegevens te verkrijgen, zijn de metingen gecorrigeerd voor het verschil tussen het gemiddelde percentage voegoppervlakte van de bewuste verhardingssoort (Agm) en het percentage

(Avg) bij elke proef. De gemiddelde voegoppervlakte is vastgesteld door deze op een groot aantal verspreid over het meetgebied liggende plaatsen te bepalen.

De gemeten infiltratie (I) wordt nu voor het gemiddelde percentage aan voegen gecorrigeerd volgens:

$$I = I_x \frac{A_{gm}}{A_{vg}}$$

waarbij wordt verondersteld, dat de infiltratie een lineair verband met de voegoppervlakte heeft.

Infiltratieformules

Om de resultaten van de infiltratiemetingen een algemeen karakter te kunnen geven, is het van belang een formule te vinden, die de infiltratie zo goed mogelijk beschrijft. Voor de infiltratie in een bestraat oppervlak zijn echter geen formules voorhanden.

Voor een open grond is dat wel het geval; daarom zijn enkele van deze formules op hun bruikbaarheid voor de simulatie van de infiltratie in een bestraat oppervlak onderzocht. De volgende infiltratieformules zijn getoetst:

– De formules van Hillel en Gardner [1970]. Hillel en Gardner leidden infiltratieformules af voor een grond met een korst erop, uitgaande van de formule van Green en Ampt [1911]. Zij introduceerden in de formules een 'korstweerstand'. Deze formules zijn mogelijk goed te gebruiken, als de bestrating als korst wordt opgevat. Hillel en Gardner onderscheiden bij de infiltratie drie fasen:

- een initiële periode, waarin de infiltratiesnelheid beperkt is en afhangt van de korstweerstand en van de effectieve zuigkracht van de ondergrond;
- een tussenliggende periode, waarin de infiltratie bij benadering toeneemt als de wortel uit de tijd;
- een latere periode, waarin de infiltratie de som van een constante en een variabele term is.

Voor de cumulatieve infiltratie in de twee laatste perioden geven zij een formule. Die voor de tussenliggende periode, dus voor 'korte' tijd na het begin van de infiltratie luidt:

$$I_{cum} = \sqrt{at + b} - c \{m\} \quad (1)$$

De formule voor de 'latere' periode, dus voor 'lange' tijd na het begin van de infiltratie luidt:

$$I_{cum} = at + b \ln(1 + ct) \{m\} \quad (2)$$

– De formule van Kostiakov. [Van der Molen, 1976]

$$I_{cum} = a \sqrt{t} \{m\} \quad (3)$$

– De formule van Philip. [Van der Molen, 1976]

TABEL II - Gemiddelde modefficiëncy en de geschiktheid van de getoetste infiltratieformules per verhardingssoort.

Formule	Koperslakkeien		Betonklinkers		Stoeptegels	
	R ²	rangno.	R ²	rangno.	R ²	rangno.
Hillel & Gardner 'kort'	0,993	1	0,993	1	0,995	1
Hillel & Gardner 'lang'	0,969	3	0,974	3	0,973	3
Philip	0,988	2	0,992	2	0,991	2
lineair	0,966	4	0,959	4	0,970	4

TABEL III - De gevonden parameters voor de formules van Hillel en Gardner voor korte perioden en die voor de formule van Philip.

	Hillel en Gardner 'kort'			Philip:	
	a {m ² .etm ⁻¹ }	b {m ² }	c {m}	a {m.etm ² }	b {m.etm ⁻¹ }
Koperslakkeien	3,54x10 ⁻²	5,6x10 ⁻³	7,27x10 ⁻²	2,02x10 ⁻²	1,70x10 ⁻¹
Betonklinkers	4,70x10 ⁻²	5,6x10 ⁻³	7,14x10 ⁻²	3,67x10 ⁻²	1,93x10 ⁻¹
Stoeptegels	3,71x10 ⁻²	5,7x10 ⁻³	7,32x10 ⁻²	2,85x10 ⁻²	1,74x10 ⁻¹

$$I_{cum} = a \sqrt{t} + bt \{m\} \quad (4)$$

– Een formule met lineair verband. De gevonden infiltratiemetingen lijken op het eerste gezicht op een rechte lijn te liggen. Daarom is ook de formule met een lineair verband tussen tijd en infiltratie getoetst:

$$I_{cum} = at \{m\} \quad (5)$$

In de formules stellen a, b en c de modelparameters voor; zij hebben betrekking op de fysische grootheden die bij het infiltratieproces een rol spelen.

De formule die het best voldoet, is die, welke het gemeten infiltratieverloop het beste beschrijft. Om deze 'beste' formule te vinden, moeten de waarden van de parameters zo goed mogelijk worden geschat. Ter bepaling van de parameterwaarden is een computerprogramma geschreven, dat de parameterwaarden optimaliseert.

Resultaten

Op de parkeerplaats zijn in totaal 20 infiltratiemetingen uitgevoerd. Gemiddeld duurden de proeven ca. 3½ uur. Op de koperslakkeien werden 9 metingen verricht, op de betonklinkers 7 en op de stoeptegels 4. Met deze metingen als invoergegeven zijn de parameters voor de vijf formules via optimalisatie bepaald. Bij het rekenen bleek dat de resultaten berekend met de formule van Kostiakov aanmerkelijk slechter waren dan die berekend met de andere vier formules. De formule van Kostiakov is daarom verder buiten beschouwing gelaten. De modefficiëncy (R²) is een maat voor de nauwkeurigheid waarmee een model de werkelijkheid benadert. De formule met de hoogste modefficiëncy beschrijft de infiltratie het beste. De maximale waarde van R² is 1. Welke formule de geschikste is, is op te maken uit tabel II, waarin de gemiddelde modefficiëncy per verhardingssoort en per formule is opgenomen. Rangnummers geven de volgorde van geschiktheid aan.

Uit tabel II blijkt dat de formule van Hillel en Gardner 'kort' de infiltratie in bestrating het beste weergeeft. De volgorde van geschiktheid van de formules is bij de drie bestratingen hetzelfde. Ondanks dat de formule van Hillel en Gardner 'kort' het hoogste scoort, heeft deze formule het bezwaar, dat op tijdstip t = 0, de berekende infiltratie niet gelijk aan nul is. Bij gemiddelde parameterwaarden wordt dan namelijk een infiltratie van ca. 2,5 mm berekend. Wordt deze te hoge aanvangsinfiltratie evenwel beschouwd als het verlies dat optreedt door berging op straat en invochtiging van het wegdek, dan wordt deze fout in praktisch opzicht teniet gedaan. De formule van Philip heeft het hierboven genoemde nadeel niet. De gemiddelde modefficiëncy van deze formule is maar weinig lager dan die van de formule van Hillel en Gardner voor korte perioden. Het verschil tussen de infiltratie berekend met de beide bovengenoemde formules is in de eerste paar uur overigens niet noemenswaardig; pas na langere tijd wordt het verschil vrij groot, zoals blijkt uit tabel IV.

De gemiddelde parameterwaarden voor de formule van Hillel en Gardner 'kort' en die van Philip zijn in tabel III weergegeven. Om een indruk te krijgen van de grootte van de infiltratie, berekend volgens beide formules, is in onderstaande tabel IV voor enkele tijdstippen de berekende infiltratie vermeld.

De gevonden infiltratie lijkt vrij hoog, althans hoger dan men voor bestratingen zou verwachten. De waarden liggen echter in dezelfde orde van grootte als die voor gelijksoortige bestrating gevonden werden door Zondervan en Dommerholt [1976] en door Bakker en Bebelaar [1981] respectievelijk 6–27 mm/h en ca. 10–30 mm/h. Voor het gehele parkeerterrein kan uit bovenstaande infiltratiecijfers een 'overall' infiltratiecapaciteit, gewogen naar de oppervlakte per verhardingssoort, berekend

worden. Met de formule van Hillel en Gardner is dit 7 mm na 1 uur. Deze 'overall' infiltratie treedt pas dan op, als de neerslagintensiteit hoger of gelijk is aan de hoogst voorkomende infiltratiecapaciteit. De hoogste infiltratiecapaciteit is hier 15,8 mm/h.

Toetsing van de infiltratiecapaciteit aan enkele buien

De gevonden infiltratiecapaciteit verklaart voor een groot deel het verlies aan neerslag, dat bij afstroming van de neerslag naar het riool optreedt. Het totale verlies aan neerslag bestaat uit verdamping, invochtiging van het oppervlak en infiltratie van regenwater in de ondergrond. Als de verdamping tijdens de bui verwaarloosbaar wordt geacht, zal het verschil tussen de neerslag en de afvoer veroorzaakt zijn door de opgetreden infiltratie en de invochtiging van het oppervlak. Voor de infiltratie kan gesteld worden dat deze tijdens de bui gelijk is aan:

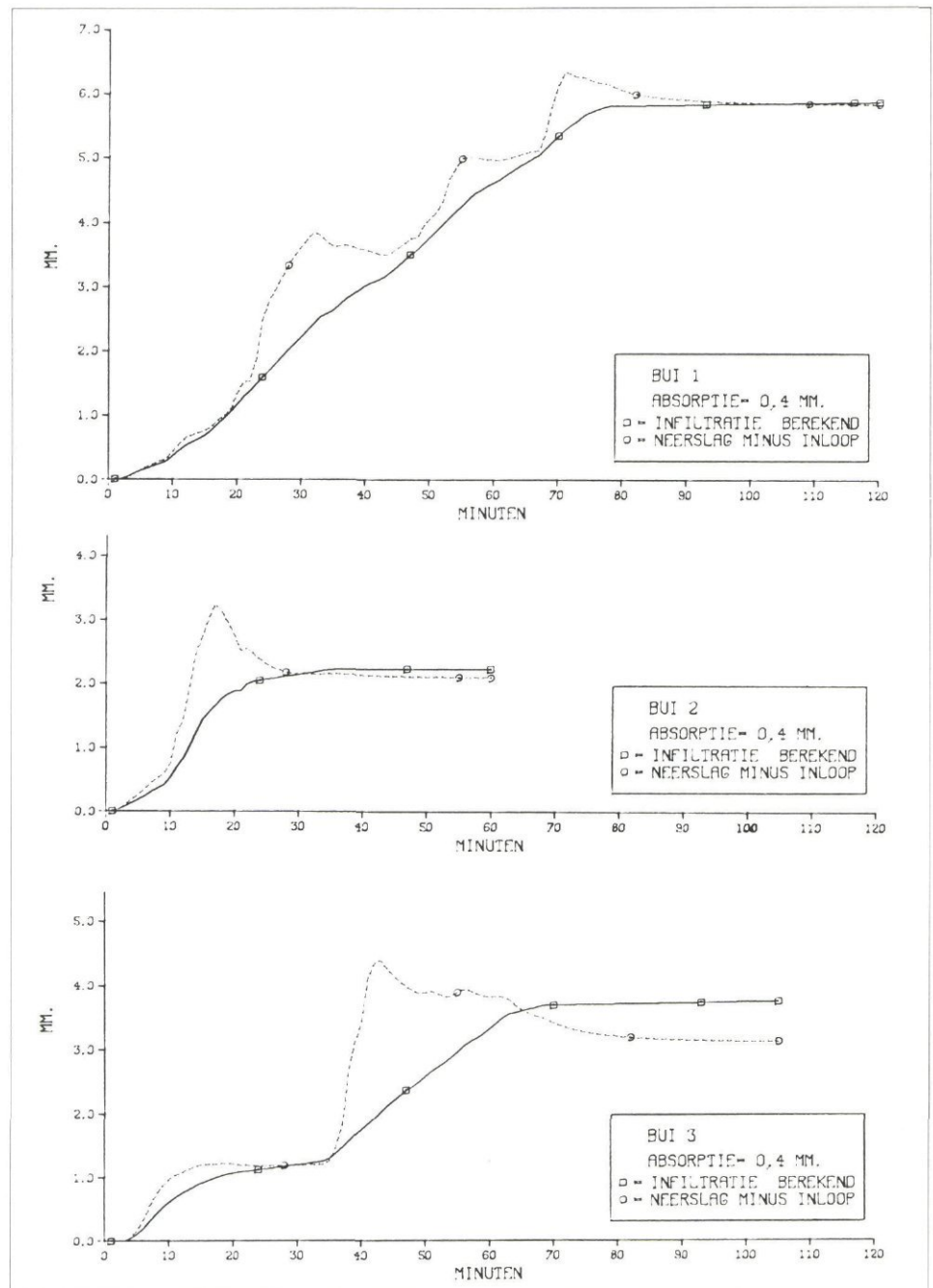
- de neerslagintensiteit; als deze lager is dan de infiltratiecapaciteit en er geen water op straat is geborgen;
- de maximale infiltratiecapaciteit; als de neerslagintensiteit groter of gelijk is aan de infiltratiecapaciteit en/of er water op straat wordt geborgen.

Per tijdstap gezien, bestaat het verlies aan neerslag uit infiltratie + adsorptie + verandering van de geborgen hoeveelheid regenwater. In formule:

$$P(t) - Q(t) = I(t) + A(t) + \Delta S(t)$$

P = neerslag; Q = afvoer; I = infiltratie; S = geborgen hoeveelheid regenwater op straat. Om de gevonden infiltratiecapaciteit aan enkele buien te kunnen toetsen, is een computerprogramma geschreven, dat het infiltratieproces tijdens de bui simuleert. Voor het programma zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- voor elke verhardingssoort wordt per tijdstap van 1 minuut uit de neerslag- en de potentiële infiltratiegegevens berekend, hoeveel neerslag wordt afgevoerd en of er neerslag op het oppervlak wordt geborgen;
- de berging op het oppervlak is beschouwd als een bakmodel;
- de afvoer van de verschillende oppervlakken stroomt naar de straatgoten toe. Voor deze goten wordt de infiltratie, de afvoer en de berging apart berekend;
- de totale infiltratie per tijdstap volgt uit de som van de infiltratie van elk straattypen;
- er kan vooraf een oppervlakteberging opgegeven worden;
- het straatoppervlak is aan het begin van de bui droog, zodat adsorptie plaatsvindt;
- de potentiële infiltratie wordt berekend volgens de formule van Hillel en Gardner 'kort' met de gemiddelde parameters. De simulatie is uitgevoerd met buien,



Afb. 2 - Het cumulatieve verloop van de gesimuleerde infiltratie en van de gemeten neerslag minus rioolinloop.

waarvan het neerslag-afvoerloop in het kader van het 'Stedelijk wateronderzoek' te Lelystad gemeten is.

Resultaten van de infiltratiesimulatie

In afb. 2 is voor enkele buien het cumulatieve

TABEL IV - Cumulatieve infiltratie in mm op enkele tijdstippen voor de verschillende verhardingssoorten berekend volgens de formules van Hillel en Gardner (HG) en Philip (P) bij gemiddelde parameterwaarden.

	1 uur		3 uur		12 uur	
	HG	P	HG	P	HG	P
Koperslakkeien	11	11	27	28	80	99
Betonklinkers	16	16	36	37	99	123
Stoeptegels	12	13	29	32	83	107

verloop weergegeven van de neerslag minus de rioolinloop, zoals deze is gemeten (gestippeld) en van de berekende cumulatieve infiltratie. Het vlakke gedeelte in de grafiek van neerslag – rioolinloop aan het einde van de bui geeft de totale hoeveelheid neerslag aan, die *niet* is afgevoerd. Die hoeveelheid moet dus in het oppervlak geïnfilteerd zijn, zodat de infiltratielij (getrokken) op dezelfde hoogte als de gestippelde lijn horizontaal moet gaan lopen. Bij de buien 1 en 2 (afb. 2) blijkt de berekende infiltratie goed met het verlies aan neerslag overeen te komen. Voor bui 3 gaat dit evenwel niet op. Bij deze bui wordt de infiltratie overschat. Gezien de hoge pieken

die boven de infiltratielij n liggen, is er genoeg water voor infiltratie aanwezig, maar wordt het daarvoor niet benut. Een mogelijke verklaring hiervoor is, dat bij een hoge neerslagintensiteit aan het begin van de bui, zoals hier het geval is, het water sneller wordt afgevoerd. De helling van de parkeerplaatsen kan daarbij een rol spelen; immers bij een kortdurende neerslag met hoge intensiteit zal op de hoger gelegen delen niet voldoende water voor infiltratie aanwezig zijn, doordat het water snel naar de lagere gedeelten stroomt. In het model wordt er in dit geval evenwel van uitgegaan, dat er op de hoger gelegen weggedeelten voldoende water voor, een maximale infiltratie aanwezig is. Kennelijk heeft de morfologie van de bui invloed op de hoeveelheid neerslag die kan infiltreren en daarmee op de afvoercoëfficiënt.

Rioolontwerpnorm

Bij de dimensionering van rioolstelsels wordt een hydraulische ontwerpnorm gebruikt. Deze norm heeft als grondslag dat het riool de afvoerintensiteit, veroorzaakt door een neerslag met een bepaalde intensiteit – de berekeningsintensiteit – moet kunnen verwerken. De ontwerp-afvoerintensiteit wordt bepaald uit het produkt van de berekeningsintensiteit en de afvoercoëfficiënt. De afvoercoëfficiënt wordt veelal arbitrair gekozen, waarbij een waarde van 0,8 vaak wordt aangehouden.

De ontwerp afvoerintensiteit kan echter veel gefundeerder worden vastgesteld, als de infiltratiecapaciteit van de verharding bekend is. Daartoe wordt uitgegaan van de berekeningsintensiteit waarvan de infiltratie-

capaciteit van het verharde gebied wordt afgetrokken. Als voorbeeld de bepaling van de ontwerp-afvoerintensiteit voor de parkeerplaats op het Noorderwagenplein. Uit de infiltratieproeven blijkt dat er 7 mm/h regenwater in de parkeerplaats kan infiltreren en er met 0,4 mm absorptie rekening kan worden gehouden. Uitgaande van een berekeningsintensiteit van 65 l/s/ha (23,4 mm/h) kan hierop een reductie worden toegepast van 7,4 mm/h tot 16 mm/h, waarmee de ontwerp-afvoerintensiteit op ca. 45 l/s/ha komt. In afb. 3 is bovenstaande grafisch weergegeven. Het gearceerde gedeelte geeft de reductie op de berekeningsintensiteit ten gevolge van de infiltratie en absorptie aan. Gezien het voorgaande is het dus raadzaam om:

- de afvoernormen aan te passen aan de soort verharding in het gebied;
- bij de inrichting van een gebied zo min mogelijk asfalt en zoveel mogelijk klinkerverhardingen te gebruiken, als men een lage ontwerp-afvoerintensiteit wil nastreven.

Conclusies

- Het infiltratieproces bij bestrate oppervlakken is het beste te beschrijven met de formule van Hillel en Gardner voor korte tijd ($I = \sqrt{at + b} - c$), gevolgd door die van Philip ($I = a \sqrt{t} + bt$). De uitkomsten van beide formules verschillen in de eerste drie uur niet veel van elkaar. Voor korte tijden zal de formule van Philip ook goed voldoen. De gemiddelde infiltratiecapaciteit in mm per verhardingstype op het Noorderwagenplein, berekend met de formule van Hillel en Gardner 'kort' bedraagt na één uur voor

koperslakkeien ca. 11 mm, voor betonklinkers ca. 16 mm en voor stoeptegels ca. 12 mm.

- De gevonden waarden liggen in dezelfde orde van grootte als in de literatuur vermelde waarden.
- Toetsing van de gevonden infiltratiecapaciteit aan het gemeten neerslag-afvoer- verloop van enkele buien, bevestigt vooralsnog de juistheid van de gevonden infiltratiecapaciteit.
- Bij het vaststellen van de ontwerp-afvoerintensiteit van rioolstelsels, kan rekening worden gehouden met de infiltratiecapaciteit van de verharding. Dit als alternatief voor de gebruikelijke, enigszins arbitrair gekozen afvoercoëfficiënt.
- Het gebruik van zoveel mogelijk klinkerverharding in een gebied in plaats van asfalt kan aanleiding zijn voor een opmerkelijke reductie van de ontwerp-afvoerintensiteit.

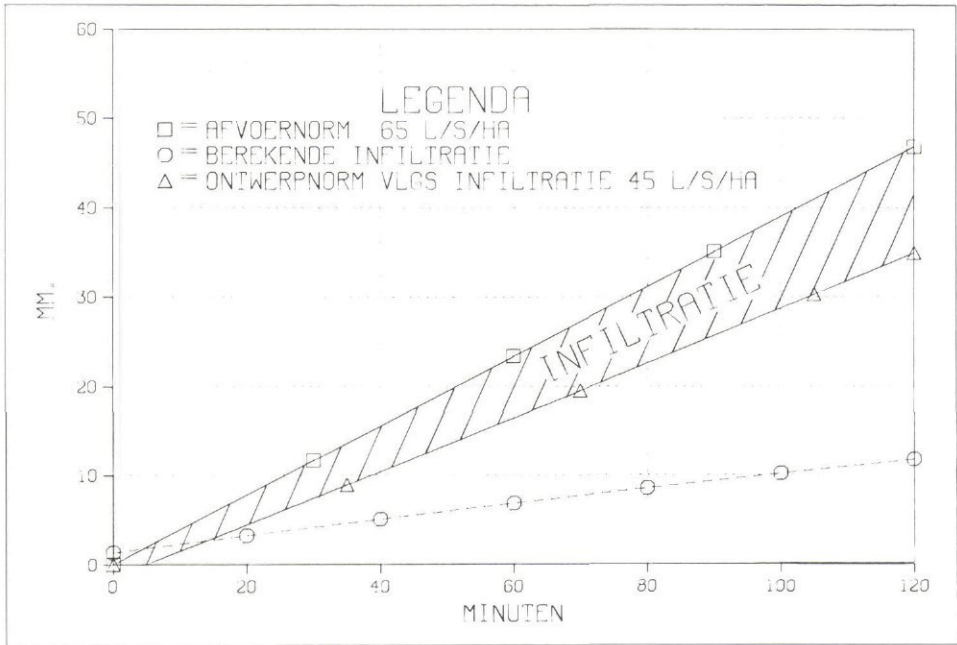
Samenvatting

Bij de dimensionering en het ontwerp van het rioolstelsel wordt aangenomen dat het overgrote deel van de neerslag, dat op een bestraat oppervlak valt, door het riool moet worden afgevoerd. Uit het 'Stedelijk wateronderzoek Lelystad' blijkt, dat op een gedeeltelijk bestrate parkeerplaats een groot verlies aan neerslag – in de orde van grootte van 35% – optreedt. Wordt de verdamping tijdens de regenbui verwaarloosd, dan zal het verlies aan neerslag veroorzaakt worden door infiltratie van het regenwater in de voegen van de bestrating. Een gedegener kennis over de hoedanigheid en de grootte van het infiltratieproces kan leiden tot een betere afstemming van de waterafvoersystemen – zoals riolering, drainage en grachtenstelsel – op het wateraanbod. Daarom zijn op de verschillende bestratingstypen van het Noorderwagenplein (een parkeerplaats) te Lelystad een twintigtal infiltratiemetingen uitgevoerd.

De metingen zijn verricht met een speciaal ontworpen infiltrameter, die op de straatstenen werd vastgekit. Aan de hand van de verkregen infiltratiemetingen zijn vijf verschillende infiltratieformules getoetst op hun bruikbaarheid om de infiltratie in een bestrating te berekenen. Voor de toetsing van de formules is een computerprogramma ontwikkeld, dat de parameters van de formules via de optimalisatie bepaalt. Uit de toets kwam de formule van Hillel en Gardner ($I = \sqrt{at + b} - c$) als beste uit de bus. De infiltratie in mm voor enkele tijdstippen, berekend volgens deze formule, is als volgt:

	Na 1 uur	Na 3 uur	Na 12 uur
Koperslakkeien	11	27	80
Betonklinkers	16	36	99
Stoeptegels	12	29	83

Afb. 3 - Bepaling van de rioolontwerpnorm uit het verschil tussen de afvoernorm en de infiltratie.



TABEL VI – Bestemming van het slib in percenten.

Afgevoerd slib als volume	Aantal meldingen	Hoeveelheid m³	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13	14	16	17	34
met Den Haag	593	5.556.962	27,78	0,29	0,05	5,57	7,54	3,16	5,63	47,51	0,26	0,15	1,84	0,02	0,19	0,01
zonder Den Haag	592	2.946.962	52,38	0,55	0,10	10,49	14,22	5,96	10,62	1,01	0,50	0,28	3,48	0,03	0,36	0,01

Afgevoerd slib als d.s.	Aantal meldingen	Hoeveelheid ton	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13	14	15	16	17
met Den Haag	593	249.434	31,25	0,86	0,18	13,25	10,66	4,79	26,55	8,69	1,06	0,11	1,82	0,03	0,07	0,68
zonder Den Haag	592	228.554	34,10	0,93	0,20	14,46	11,63	5,23	28,98	0,34	1,15	0,12	1,99	0,04	0,07	0,74

Codering bestemming:

1. landbouw

2. tuinbouw, inclusief bollenteelt

3. sportvelden, plantsoenen etc.

4. nuttige bestemming anderszins
5. overdracht aan tussenhandel

6. storten op eigen terrein

7. storten elders

8. afvoer naar oppervlaktewater
9. verbranden

13. combinatie van bestemming 1 en 3

14. combinatie van bestemming 1 en 4

15. 16, 17 en 34 soortgelijke combinaties.

TABEL VII – Bestemming ten nutte in percenten van totale slibproductie.

Afgevoerd slib als volume inclusief Den Haag	43,2
exclusief Den Haag	81,5
Afgevoerd slib als drogestof inclusief Den Haag	58,2
exclusief Den Haag	63,5

kwaliteit van geproduceerde partijen slib. De medewerking van de beheerders van de zuiveringsinrichtingen aan deze enquête is zeer bereidwillig geweest. Hen is dan ook veel dank verschuldigd.

Amersfoort, 1 januari 1983.
Mevr. L. E. Duvoort-van Engers

TABEL VIII – Kwaliteitsgegevens zuiveringslib 1980.

Stof	Gewogen gemiddelde samenstelling (totaal)	Respons	Gewogen gemiddelde samenstelling van slib dat naar de landbouw gaat	Respons
org. stof	60,5%	78,3	59,1%	95,4
N	5,7%	75,1	5,3%	96,2
P ₂ O ₅	5,4%	73,0	5,5%	96,2
CaO	10,0%	60,9	10,3%	88,4
K	0,6%	60,8	0,6%	89,8
Mg	0,6%	51,1	0,6%	77,5
Cl	0,1%	4,0	0,0%	6,6
zn	1153 mg/kg	99,9	1359 mg/kg	99,9
Pb	392 mg/kg	79,8	321 mg/kg	95,6
Cu	521 mg/kg	80,3	471 mg/kg	95,6
Mn	218 mg/kg	7,4	241 mg/kg	9,6
Cr	232 mg/kg	81,0	176 mg/kg	97,5
Cd	7 mg/kg	78,4	7 mg/kg	98,2
Ni	58 mg/kg	78,4	47 mg/kg	98,3
Hg	4 mg/kg	67,4	5 mg/kg	93,0
As	7 mg/kg	50,4	9 mg/kg	69,4

merken. Bij het opstellen van tabel VII is hiervan uitgegaan. Exclusief Den Haag is 63,5 (gewichts)% ten nutte aangewend, in 1979 bedroeg dit percentage 70%. De kwaliteitsgegevens van het slib staan vermeld in tabel VIII. Hier worden gewogen gemiddelden gegeven voor de in totaal geproduceerde slib hoeveelheid en het slib dat rechtstreeks in de landbouw wordt gebruikt. Deze samenstellingen vertonen geen grote verschillen met die van 1979. De beide gemiddelden voldoen ruimschoots aan de eisen gesteld in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen voor de toepassing van vloeibaar zuiveringsslib op bouw- en grasland. Het zal duidelijk zijn dat gemiddelden geen inzicht geven in de

Literatuur

1. Afvalwaterzuiveringsinrichtingen. Jaaroverzicht 1980. Mededelingen n2. 28. Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater.



Infiltratie in bestratingen

● Slot van pagina 128

De infiltratie in de bestrating is hoger dan men zou verwachten, maar komt overeen met die in de literatuur is vermeld. Met de gevonden infiltratiecapaciteiten als basis, is de infiltratie die op het Noorderwagenveld tijdens enkele buien zou zijn opgetreden, met een computermodel gesimuleerd. Uit deze simulatieberekeningen blijkt, dat bij buien met een gemiddelde afvoercoëfficiënt de infiltratie vrij goed overeenkomt met de neerslag die niet wordt afgevoerd. Ervan uitgaande, dat het verlies aan neerslag tijdens de bui voor het grootste gedeelte wordt veroorzaakt door infiltratie, lijkt met het model een goede voorspelling van de te verwachten infiltratie mogelijk.

Literatuur

- Bakker, J. W. en J. P. Bebelaar (1981). *Infiltratie van regenwater door verschillende wegdekken i.v.m. de watervoorziening van straatbomen*. Nota 1247, Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, Wageningen.
- Berg, J. A. van den (1978). *Quick and slow response to rainfall by an urban area*. Lelystad.
- Clarke, R. T. (1973). *Mathematical models in hydrology, irrigation and drainage*. Paper 19. FAB, 1973, Rome.
- Green, W. H. and Ampt, G. A. (1911). *Studies on Soil Physics, Part I, The flow of air and water through soils*. J. Agr. Science 4; p. 1-24.
- Hillel, D. and Gardner, W. R. *Transient infiltration into crust-topped profiles*. Soil Science, volume 109, number 2 (February 1970), p. 69-76.
- Hills, R. C. (1971). *Lateral flow under cylinder infiltrometers: a graphical correction procedure*. Journal of Hydrology 13, p. 153-162.
- Molen, W. H. van der (1976). *Stroming in de onverzadigde zone*. Wageningen.
- Nijmeijer, F. *De waterbalans van 1969-1980 voor Pampus-Blokkerhoek en het Noorderwagenveld*. Werkdocument 1981-234 Abw., RIJP, Lelystad.
- Ven, F. H. M. van de (1982). *Maatgevende Neerslag; Maatgevende Inloop*. H₂O (16) nr. 3, pp. 62-66.
- Ven, G. A. *Een rekenmodel voor het beschrijven van de afvoer in het landelijke gebied van de Flevopolders*. Werkdocument 1979-148 Abw. RIJP, Lelystad.
- Zondervan, J. A. en Dommerholt, A. (1976). *Omvorming van neerslag tot rioolinvloer bij enkele typen verhardingen*. Wageningen.

