

1
NN31545.1247

februari 1981

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

INFILTRATIE VAN REGENWATER DOOR VERSCHILLENDE
WEGDEKKEN i.v.m. DE WATERVOORZIENING VAN STRAATBOMEN

J.P. Bebelaar
ir. J.W. Bakker

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

18 FEBRUARI 1981



ISBN = 237579*

J.P. Beelaar, student CHLS te Dronten. Onderzoek verricht tijdens een stage in juli en augustus 1980 op het ICW

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. MEETMETHODE	2
2.1. Beschrijving van de meting	2
2.2. Testen van de meting	4
2.3. Berekening infiltratiesnelheid door de straat uit de metingen van de daalsnelheid	9
3. RESULTATEN	11
3.1. Beschrijving doorgemeten wegdekken	11
3.2. Discussie	19
3.3. Vergelijk met infiltratiemetingen op parkeerplaats bij Pomona door LH in 1977	19
4. INFILTRERENDE NEERSLAGHOEVEELHEDEN VIJ VERSCHILLENDE WEGDEKKEN, BEREKEND VOOR REGENINTENSITEITEN VAN DE BILT	22
5. BEREKENING HOEVEEL WATER INFILTREERT BIJ ENKELE WEGDEKKEN EN OPSTELLEN VAN EEN WATERBALANS	29
5.1. De hoeveelheid water die infiltreert bij de parkeerplaats voor de Hema bij de Junushoff	29
5.2. De hoeveelheid water die infiltreert en afstroomt op parkeerplaats bij Pomona	31
5.3. Waterbalans van de parkeerplaats achter het Staringgebouw	31
6. LITERATUUR	35
BIJLAGEN	38

1. INLEIDING

Een straatboom krijgt het water wat hij verdampt uit:

- de watervoorraad in de grond die hij kan doorwortelen;
- de eventuele opstijding van water vanuit het grondwater;
- de neerslag die door het wegdek infiltreert.

De watervoorziening blijkt voor veel straatbomen ontoereikend.

Het komt veel voor dat:

- Het volume doorwortelde grond sterk beperkt is en het waterhoudend vermogen ervan klein.
- Opstijging vanuit het grondwater onvoldoende is.
- Een groot deel van de regen afstroomt naar het straatriool. Het veel toegepaste warm asfalt is bijvoorbeeld volkomen water- en gasdicht, terwijl ook bij verschillende tegel- en klinkerbestratingen een deel van de regen afstroomt (zie BAKKER e.a. 1979; MEYER, 1979; VERHAEGH, 1979).

Bij het beoordelen of ontwerpen van een plantplaats voor een straatboom is één van de belangrijkste vragen: "Is de watervoorziening van de boom wel voldoende?". Er wordt dan gelet op het waterhoudend vermogen van de doorwortelde grond, het volume doorwortelde grond, de oppervlakte zowel als de diepte van het plantgat, dit laatste in verband met beschikbaarheid van het grondwater.

Van de beoordeling of keuze van een straatbedekking is het in dit opzicht van belang dat men weet op hoeveel wateraanvoer men kan rekenen door verschillende wegdekken zowel voor de aanvoer tijdens de zomer als voor het weer aanvullen van de watervoorraad tijdens de winter. In dit onderzoek hebben we de infiltratiesnelheid voor water van verschillende bestaande bestratingen gemeten. Daarna is berekend wat dit betekent

voor de hoeveelheid regen die per jaar door die wegdekken kan infiltreren.

Het onderzoek verliep in de volgende fasen:

- het testen van de meetmethode van infiltratiemeting;
- het meten van de infiltratie van verschillende wegdekken in Wageningen;
- het vergelijken met uitkomsten uit metingen in Wageningen van 1977;
- en het berekenen van de hoeveelheid infiltrerende neerslag uit de frequentie van neerslagintensiteiten voor verschillende infiltratiesnelheden.

Vervolgens is voor enkele verharde terreinen berekend hoeveel van het regenwater infiltreert en is van één terrein een voorbeeldberekening van de waterbalans gemaakt.

2. MEETMETHODE

2.1. Beschrijving van de meting

In principe zijn er 2 soorten infiltratiemetingen voor water. Eén waarbij een laagje water binnen een ring op het straatoppervlak wordt gezet en de waterhoogte konstant wordt gehouden door watertoevoer. De infiltratiesnelheid wordt berekend uit deze toevoersnelheid.

De andere methode is zonder aanvulling van het water, de waterspiegel daalt en de infiltratiesnelheid wordt berekend uit de snelheid waarmee de waterspiegel daalt.

Om met meerdere ringen tegelijk (6 bij het onderzoek) op een wegdek te kunnen meten leek deze laatste methode het meest geschikt.

Met een meetbrug met micrometer wordt de daalsnelheid van het water in een metalen ring, die op het wegdek wordt vastgekit, gemeten (fig. 1).

Alvorens de ring op het wegdek vast te kitten worden de voegen op de plaats waar de ring de voeg kruist \pm 3 cm uitgediept en gevuld met een afdichtkit op acrylaatbasis om zijdelings watertransport in de voeg te voorkomen. Nadat de ring is vastgekit en de kit is gedroogd (\pm 15 minuten) wordt een laagje water ter hoogte van 1 cm op het wegdek binnen de ring gegoten. Direkt wordt de tijd opgenomen en afhankelijk van

de daalsnelheid wordt om de 1 tot 10 minuten met de micrometer de hoogte van de waterspiegel gemeten. De gegevens tijd en hoogte waterspiegel worden uitgezet in een grafiek en hieruit wordt de gemiddelde daalsnelheid (in mm/u) berekend. Uit de daalsnelheid wordt de infiltratiesnelheid van het wegdek berekend door te corrigeren voor verschillen in gemiddelde voeglengte per cm^2 wegdek en de voeglengte in de metring.

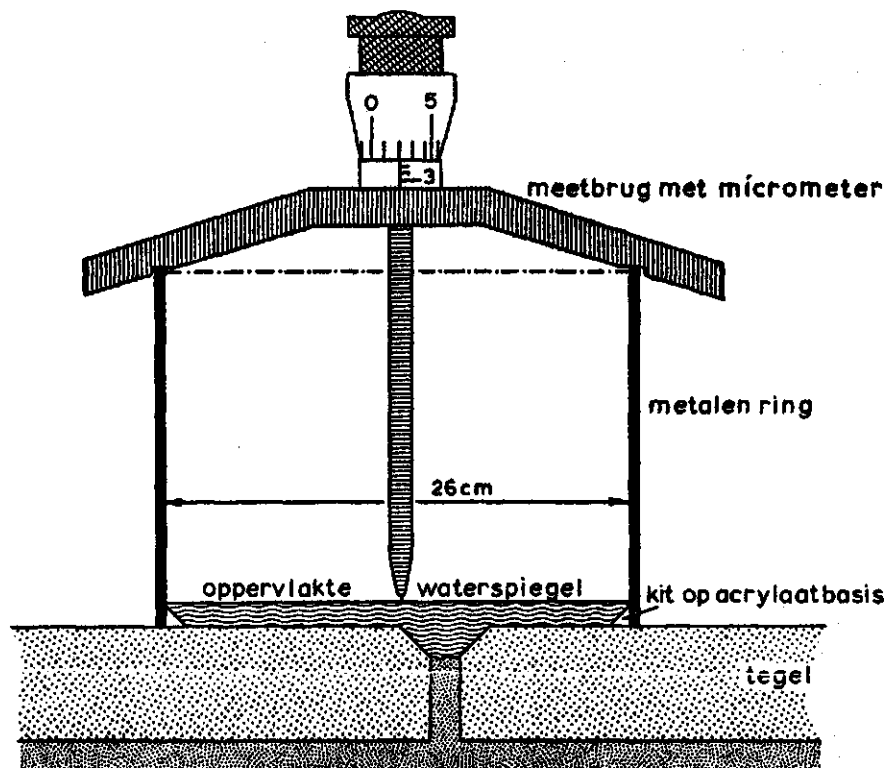


Fig. 1. Dwarsdoorsnede van de opstelling voor het meten van de infiltratiesnelheid van water door het wegdek

Voordat met doormeten van wegdekken in Wageningen is begonnen zijn op het terrein van het Staringgebouw (bij de fietsenstalling) verschillende metingen uitgevoerd om de invloed van de volgende factoren te bepalen:

- a. de grootte van de ring, het gebruik van de enkele of dubbele ringmethode;

- b. de hoogte van de waterkolom in de ring;
- c. de hoeveelheid water die direct voor een meting door het wegdek geïnfiltreerd is.

2.2. Testen van de meting

2.2.1. Invloed van de ringgrootte

Met de volgende metingen is de invloed nagegaan van het gebruik van een enkele ring (diameter 26 cm) en een dubbele ring (diameter 57 cm en 26 cm) op de infiltratiesnelheid van het water.

Met de dubbele ringmethode willen we voorkomen dat het water na passeren van de voeg zich vanuit de binnenring zijdelings verplaatst (fig. 2 en 3).

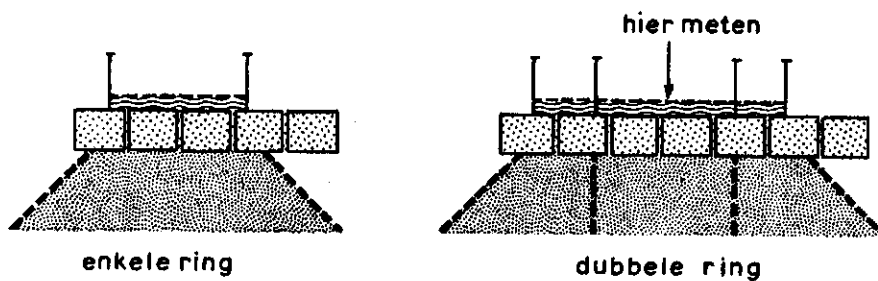


Fig. 2. De waterstroming bij infiltratiemeting met een enkele en met een dubbele ring

Achtereenvolgens zijn op dezelfde plaats, op tegelbestrating, de metingen a tot en met d verricht:

- a. binnenring gevuld, daalsnelheid in binnenring meten;
- b. buiten- en binnenring gevuld, daalsnelheid in buitenring meten;
- c. buiten- en binnenring gevuld, daalsnelheid in binnenring meten;
- d. binnenring gevuld, daalsnelheid binnenring meten;

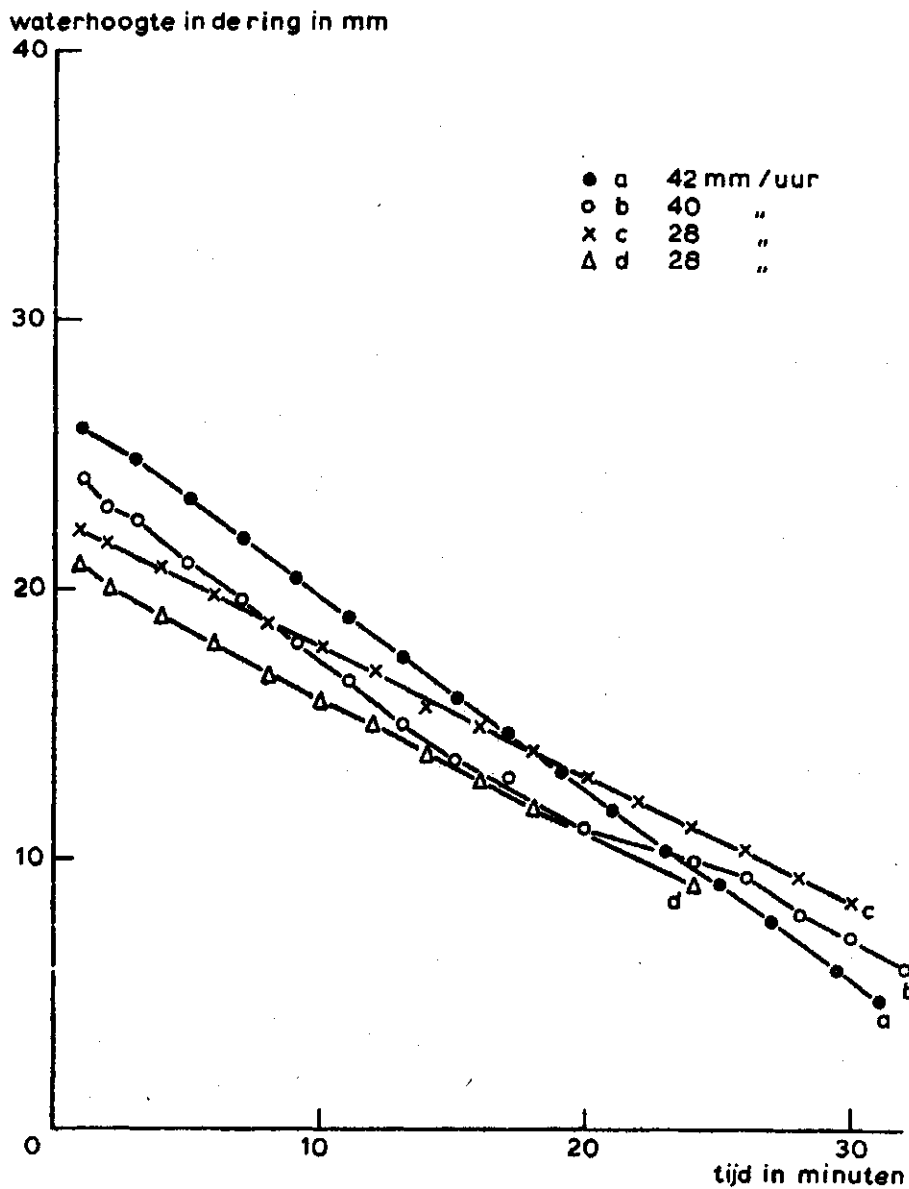


Fig. 3. Waterstandsdeling behorend bij a tot en met d van de enkele- en dubbele ringmethode

De daalsnelheden behorend bij a tot en met d zijn in de grafiek (fig. 3) uitgezet. In situatie b is de daalsnelheid in de buitenring gemeten, die van de binnenring echter niet, deze was ongeveer gelijk

met die van de buitenring.

Vergelijking van a met b en c met d toont dat op dezelfde plaats het gebruik van een enkele of dubbele ring weinig invloed heeft.

Dit is op bestrating wel te verwachten. De grootste weerstand voor de infiltratie bevindt zich in de voegen en daarin wordt zijdelings transport verhinderd door het opvullen van de voeg onder de ringrand met kit.

2.2.2. Invloed hoogte waterkolom

Verondersteld wordt dat bij daling van de waterspiegel ten gevolge van de afnemende drukhoogte de infiltratiesnelheid zal afnemen. Bij de proefmetingen en 90% van de metingen in Wageningen bleek dit niet het geval te zijn en nam de waterhoogte circa lineair af met de tijd, figuur 4 geeft daarvan een voorbeeld.

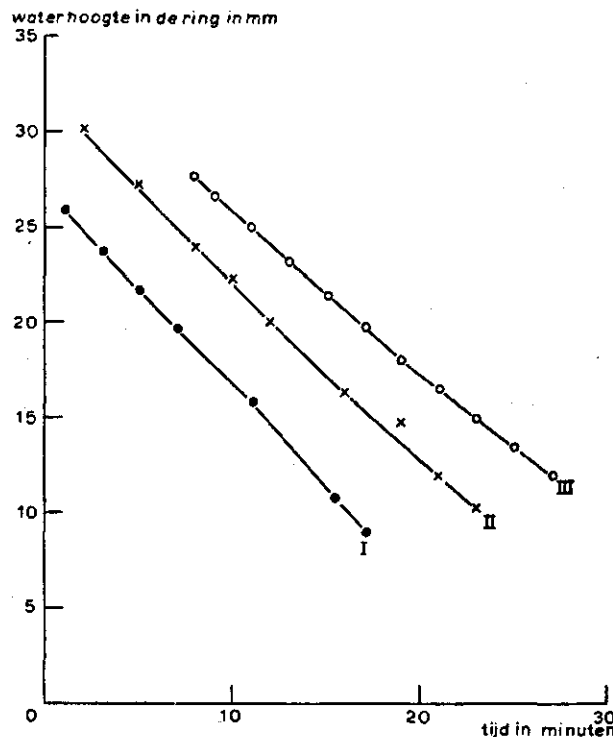


Fig. 4. Invloed van de waterhoogte op de daalsnelheid, 3 metingen direct na elkaar op 1 plaats

Dit is als volgt te verklaren:

Het water stroomt door de voeg naar de ondergrond ten gevolge van een potentiaalverschil (H) tussen het water op de bovenkant van de voeg en het water in het zand op een bepaalde diepte onder de steen. De potentiaal van het water bestaat uit de som van de plaatshoogte (z) en de druk (h = drukhoogte) van het water (fig. 5).

Aan de bovenkant van de voeg is de plaatshoogte (z_b) gelijk aan 0, en de drukhoogte is gelijk aan de dikte van de laag water (h_w) boven de steen. Voor de waterpotentiaal vlak boven de steen H_b geldt dus:

$$H_b = z_b + h_w = 0 + h_w$$

Op bepaalde diepte z_o , in het zand onder de steen blijft de drukhoogte h_o tijdens de infiltratie konstant (circa -20 à -30 cm) voor de waterpotentiaal aldaar H_o geldt:

$$H_o = -z_o + h_o$$

$$\text{dus: } H = H_b - H_o = h_w + z_o - h_o$$

Van deze waarden blijft z_o en h_o konstant en h_w neemt af door het dalen van de waterspiegel in de meetring.

De snelheid van het watertransport door de voeg is recht evenredig met H. H neemt door het dalen van de waterspiegel af, dus neemt de daalsnelheid af, maar h_w is zo'n klein onderdeel van de drijvende kracht H, (namelijk 2 cm van 20 à 30 cm) dat H over dit meettraject praktisch als konstant kan worden beschouwd, dus ook de daalsnelheid blijft konstant.

Of in formules:

Door de voeg tussen de stenen loopt $F \text{ cm}^3$ water per cm^2 voegoppervlak per tijdseenheid. Voor deze stroming geldt de wet van Darcy:

$$\text{a) } F = \frac{K H}{z_o}$$

(waarin K doorlatendheid materiaal in de voeg en daaronder).

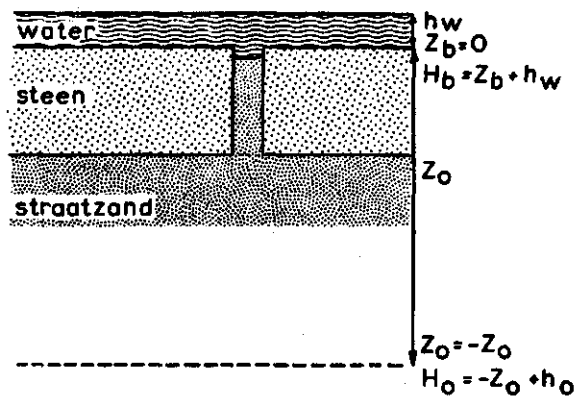


Fig. 5. Voorstelling van plaatshoogte (Z), drukhoogte (h_w) en potentiaal van het water (H)

Voor de daalsnelheid van het water in de ring $\frac{d h_w}{dt}$ geldt ook:

$$b) - \frac{d h_w}{dt} = F \frac{A_v}{A_r}$$

(waarin A_r = oppervlakte ring en A_v = oppervlakte voegen in de ring).

a) + b) geeft:

$$\frac{1}{H} d h_w = dt \cdot \frac{A_v}{A_r} \cdot \frac{K}{z_0}$$

Omdat van het totale potentiaal verschil H in de tijd alleen het onderdeel h_w varieert is $d h_w = d H$.

$$\frac{1}{H} d H = dt \frac{A_v}{A_r} \frac{K}{z_0}$$

deze intergraal uitgewerkt geeft:

$$\ln H_t = \ln H_0 - t \frac{A_v K}{A_r z_0}$$

Dit is een niet lineair verband tussen H_t en t maar omdat de gemeten variatie slechts 5 à 10% bedraagt van de totale H is het kleine stukje van de kromme waarin de meting plaats heeft nauwelijks van een rechte lijn te onderscheiden.

2.2.3. De invloed van de hoeveelheid geïnfiltreert water

Na enige metingen op dezelfde plaats te hebben uitgevoerd neemt de infiltratiesnelheid in de ring af (zie fig. 3 en 4). De volgende dag wordt opnieuw gemeten en vinden we een daalsnelheid gelijk aan die van de 1^e meting. De afname van de infiltratiesnelheid heeft als hoofdoorzaak het verzadigen van de ondergrond, het dichtslempen van de voegen door de infiltratiemeting zelf is de oorzaak dus niet.

Samenvattend

De infiltratiesnelheid door een wegdek kan goed met een enkele ring worden gemeten. De daalsnelheid over het gemeten traject is praktisch onafhankelijk van de hoogte van de waterkolom. Na het snel achtereen infiltreren van grotere hoeveelheden water door een wegdek neemt de infiltratiesnelheid af.

Regenbuien intensiever en groter dan de eerste watergift bij de infiltratiemeting zijn vrij zeldzaam. Daarom geeft de eerste infiltratiemeting waarschijnlijk de waarde die de normaal voorkomende infiltratie het best benadert.

2.3. Berekening infiltratiesnelheid door de straat uit de metingen van de daalsnelheid

Van ieder meetpunt is Wageningen is achtereenvolgens het volgende gemeten. De daalsnelheid van het water binnen het ringoppervlak (I_r in cm/uur). De lengte (l_s), breedte (b_s) en hoogte (h_s) van de steen. De lengte (lv_r), breedte (bv_r) en diepte (dv_r) van de voegen in de ring.

Ter illustratie wat uit deze gegevens is berekend en in de tabellen 1 tot en met 5 (blz. 14 t/m 18) is verwerkt volgen hier de gegevens van meetpunt 3 van de parkeerplaats bij flatcomplex Pomona (tabel 1):

- wegdek van betonnen straatklinkers 22 x 11 x 8 cm

$$I_r = 1,9 \text{ cm/u}$$

$$bv_r = 0,1 \text{ cm over } 34 \text{ cm voeglengte}$$

$$= 0,35 \text{ cm over } 20 \text{ cm voeglente}$$

$$lv_r = 54 \text{ cm}$$

$$dv_r = 0,2 \text{ cm}$$

$$\text{opp. meetring : } A_r = 530 \text{ cm}^2$$

Uit deze gegevens wordt berekend:

de oppervlakte van de voegen binnen de ring (Av_r in cm^2)

$$Av_r = 34 \times 0,1 + 20 \times 0,35 = 10,4 \text{ cm}^2$$

de gemiddelde voegbreedte (b_v in cm)

$$b_v = Av_r : lv_r = 10,4 : 54 = 0,19 \text{ cm}$$

De daalsnelheid van het water op het straatoppervlak binnen de ring is vaak niet gelijk aan de infiltratiesnelheid van het straatoppervlak. Door een verschil in percentage voeg van het straatoppervlak binnen de ring en het totale straatoppervlak is de volgende berekening nodig.

De infiltratiesnelheden door de voegen, door de straat in de ring en door de straat noemen we respectievelijk I_v , I_r en I_s .

$$I_v = I_r \times \frac{A_r}{A_{vr}}$$

$I_s = I_v \times \text{voegoppervlakte (als fractie totaaloppervlakte) straat}$

$$I_s = I_v \times \frac{1 - (l_s \times b_s)}{(l_s + b_v)(b_s + b_v)}$$

Voor meetpunt 3 is berekend:

$$I_v = 1,9 \times \frac{530}{10,5} = 95,9 \text{ cm/uur}$$

$$I_s = 95,9 \times \frac{1 - (22 \times 11)}{22,19 \times 11,19} = 2,44 \text{ cm/uur}$$

3. RESULTATEN

3.1. Beschrijving doorgemeten wegdekken

Na de proefmetingen op 21 en 22 juli zijn in de er op volgende periode van 3 weken in Wageningen de infiltratiesnelheden van verschillende typen wegdekken doorgemeten op de volgende plaatsen (fig. 6):

datum	plaats	
22-7	1	Marijkeweg stoep met trottoirtegels
23-7	2	Junushoff stoep met trottoirtegels
		(naast schouw- stoep met gebakken straatklinkers
		burg) parkeerplaats met graskeien
	3	Junushoff parkeerplaats met betonnen straat-
		(voor Hema) klinkers
		parkeerplaats met grinthoudende trot-
		toirtegels
		weg met gebakken straatklinkers
		stoep met trottoirtegels
24-7	4	Plantsoen parkeerplaats met graskeien
25-7	5	Pomona parkeerplaats met betonnen straat-
		klinkers
29-7	6	Markt weg, stoep en parkeerplaats met ge-
		bakken straatklinkers
30-7	-	Amsterdam proefveld bij Zuidergasfabriek met
		trottoirtegels
6-8	7	Staringgebouw weg met betonnen straatklinkers
		parkeerplaats van warm asfalt
	8	Lawickse Allee stoep met trottoirtegels 50 x 50 x 5 cm
		weg met warm asfalt

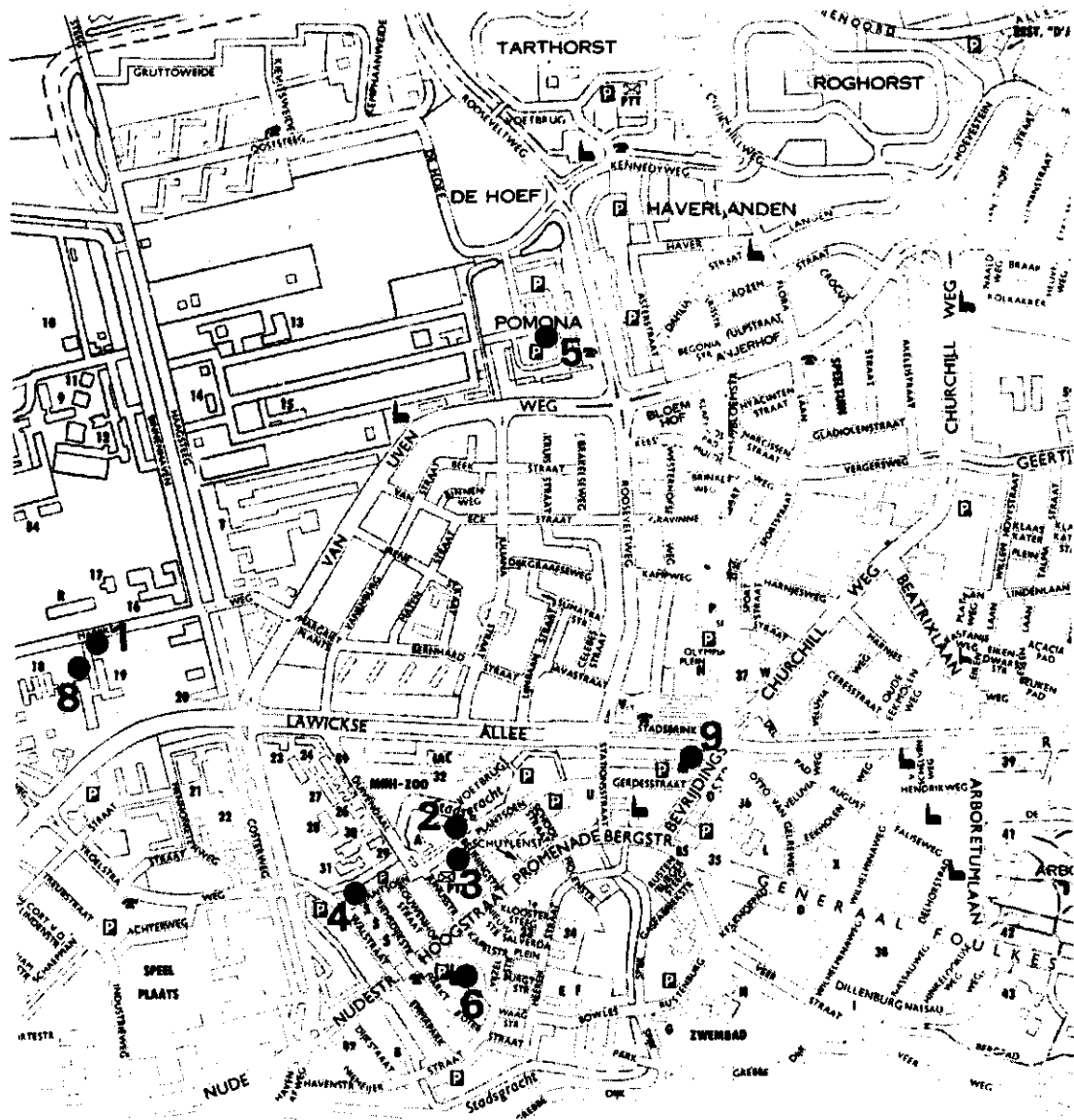


Fig. 6. Situering infiltratiemetingen in Wageningen

3.1.1. Neerslaggegevens

In de periode voorafgaand aan de metingen van 7-7 tot en met 21-7 is er 147 mm neerslag gevallen waarvan 53 mm in het weekend van 19 en 20 juli. Bij aanvang van de metingen is dus een vochtige ondergrond. Tijdens de metingen is geen neerslag van betekenis gevallen namelijk

31-7 = 2,5 mm

3-8 = 1 mm

5-8 = 3 mm

3.1.2. Infiltratiesnelheden gerangschikt naar wegdek

De infiltratiesnelheden van de wegdekken zijn in de tabellen 1 tot en met 5 op pagina 14 tot en met 18 weergegeven.

Tabel 1 = betonnen straatklinker 22 x 11 x 8 cm

Tabel 2 = gebakken straatklinker 20 x 9 x 6½ cm

Tabel 3 = trottoirtegel 30 x 30 x 4 cm

Tabel 4 = trottoirtegel, grinthoudend 30 x 30 x 4 cm

trottoirtegel 50 x 50 x 5 cm

asfalt

Tabel 5 = graskei 20 x 20 x 10 cm

Legenda bij tabel 1 tot en met 5:

- wegdek van rijbaan : r
- parkeerplaats : p
- stoep : s
- gemiddelde breedte voeg : b_v
- infiltratiesnelheid van de voeg : I_v
- achtereenvolgens 1^e, 2^e, 3^e en 4^e meting : a, b, c, d
- infiltratiesnelheid van het straatoppervlak : I_s
- ligging van het wegdek - hoog : +^s
- gemiddeld : +
- laag : -
- voeg - vervuild : v
- matig vervuild : mv
- schoon : s
- voeg begroeid met mos/algen in %
- diepte voegoppervlak t.o.v. straatoppervlak
- wegdek onder bomen of struiken

Tabel 1. Betonnen straatklinker afmetingen $l \times b \times h = 22 \times 11 \times 8$ cm

Wegdek van	bv cm	Fractie voegopp. cm ² /cm ²			I _v cm/u			I _s cm/u			Ligging wegdek	Vervuiling voeg	Begroeiing voeg %	Onder boom	Diepte voeg cm	Opmerkingen
		a	b	c	a	b	c	a	b	c						
Staringgebouw (bij fietsenstalling)																
r	0,32	0,043	92	60	3,9	2,6				+	s	0			weinig belopen/bereiden naast gevel herhaling na 18 uur	
r	0,21	0,029	391	118	73	11,0	2,4	2,1		+	s	0				
r	0,21	0,029	257	200	208	7,4	5,8	6		+	s	0				
Junushoff (voor Hema)																
p	0,17	0,023	33		0,77					±	mv	0			scheiding parkeervakken	
Pomona																
p	0,44	0,06,0	352	242	2,1	1,4				+	mv	75			0,3	
p	0,22	0,03,0	79	73	2,3	2,2				-	v	50			0,2	
p	0,19	0,025	96	71	2,5	1,9				+	mv	100			0,2	
p	0,26	0,035	28	38	1,0	1,3				-	mv	100			0,2	
p	0,25	0,034	41	36	1,4	1,2				-	v	0	ja		0,0	
p	0,17	0,023	48	41	1,2	1,0				-	v	0	ja		0,0	
p	0,12	0,016	197	129	3,1	2,1				+	mv	60	ja		0,1	
p	0,11	0,015	235	151	3,5	2,3				±	mv	90			0,2	
p	0,10	0,014	276	233	3,9	3,3				±	mv	90			0,2	
p	0,10	0,014	233	212	3,2	3,0				-	mv	0			0,3	
Markt																
p	0,27	0,037	35		1,3					±	mv	20	ja		0,1	met algen begroeid
Staringgebouw bij parkeerplaats																
r	0,12	0,016	186		3,0					-	v	0	ja		0,1	grinthoudend zand op voeg
r	0,33	0,045	253	97	11,4	4,4				±	v	0			0,3	
r	0,49	0,067	353	167	23,7	11,2				±	mv	0			0,4	
r	0,58	0,079	447	199	35,3	15,7				+	mv	10			3,0	
r	0,48	0,065	275	126	17,9	8,2				+	mv	10			0,7	
r	0,54	0,073	81	64	5,9	4,6				+	mv	50			0,0	
r	0,58	0,079	127	62	10,0	4,9				±	mv	75			0,0	
r	0,14	0,019	69		2,6					-	v	0			0,2	

Tabel 2. Straatklinker afmetingen 1 x b x h = 20 x 61 x 9 cm

Wegdek van	bv	Fractie voegopp.		I _v			I _g	Ligging	Vervuiling	Begroeiing	Onder	Diepte	Opmerkingen
		cm	cm ² /cm ²	a	b	c							
Junushoff (bij schouwborg)													
s	0,46	0,092	28			2,6		±	mv	50			
s	0,39	0,078	39			3,0		±	mv	50	ja		
Junushoff (voor Hema)													
s	0,27	0,054	39	25		2,1	1,4	-	v	10			in goot
s	0,37	0,074	35	18		2,6	1,3	+	s	50			midden wegdek
Markt													
s	0,27	0,054	990	415	322	54	33,0	17,0	±	s	100		naast kerk, opgebroken geweest
p	0,27	0,054	253	129	122	14	7,0	6,6	±	s	10		0,3
p	0,64	0,130	26	16		3,4	2,1	-	v	10	ja		0,3
r	0,16	0,032	53	34		1,7	1,1	-	v	0	ja		0,3
r	0,64	0,128	8			1,0		±	mv	0			0,2 goot
r	0,53	0,106	8			0,8		±	mv	0			0,3
r	0,48	0,096	54	14		5,1	1,3	±	v	0			0,2
s	0,46	0,092	323	207	207	30	19	19	±	mv			1,4
s	0,27	0,054	78	16		4,2	0,9	±	mv	0			0,3 weinig belopen

Tabel 3. Trottoirtegel afmetingen $l \times b \times h = 30 \times 30 \times 4$ cm

Wegdek van	bv	Fractie wegopp. cm ² /cm ²	I _v cm/u			I _s cm/u	Ligging wegdek	Vervuiling voeg	Begroeiing voeg %	Onder boom	Diepte voeg cm	Opmerkingen
			a	b	c							
Staringgebouw, fietsenstalling												
s	0,44	0,03	795	795	792	24	24	22	-	mv	0	ongelijk wegdek
s	0,3	0,02	297	283	198	5,3	5,1	3,6	+	mv	0	onder afdak
Marijkeweg voeg												
s	0,1	0,0067	14,5		0,10				+	mv	0,12	25 cm straatzand op klei
s	0,1	0,0067	33,3		0,22				-	v	0	weinig belopen
s	0,35	0,023	50,4		1,16				++	mv	0,12	voeg begroeid
s	0,1	0,0067	10,6		0,07				+	mv	0,02	weegbree + gras
Junushoff (naast schouwborg)												
s	0,1	0,0067	22		0,15				+	mv		weinig belopen
s	0,1	0,0067	29		0,2				+	mv		ja
Junushoff (voor Hema)												
s	0,13	0,0087	40		0,35				+	mv	0	0,03
Zuidergasf. Amsterdam												
s	0,16	0,011	171		1,9				+	mv	50	ja 0,02
s	0,14	0,009	511		4,6				+	mv	0	ja 0,24
s	0,18	0,012	325		3,9				+	mv	50	ja 0,1
s	0,12	0,008	195		1,6				+	mv	25	ja 0,3
s	0,20	0,013	215		2,8				+	mv	50	ja 0,2
s	0,18	0,012	2120		25,4				+	mv	50	ja 0,2

Tabel 4. Trottoirtegel: Grintheadend afmetingen l x b x h = 30 x 30 x 4 cm

Wegdek van	bv cm	Fractie voegopp. cm ² /cm ²	I _v cm/u	I _g cm/u	Ligging wegdek	Vervuiling voeg	Begroeiing voeg %	Diepte voeg cm	Onder boom	Opmerkingen
Junushoff (voor Hema)										
P	0,10	0,0067	454	3,0	±	v	0	0,1		olie op wegdek
P	0,11	0,0074	76	0,6	±	mv	0	0,1		
Trottoirtegel afmetingen l x b x h = 50 x 50 x 5 cm										
Lawickse Allee										
S	0,10	0,004	230	0,92	+	mv	0	0,0		
S	0,40	0,016	61	0,97	+	mv	50	0,0		
Asfalt										
Staringgebouw en Lawickse Allee										
I			0							
P										

Tabel 5. Graskaïen afmetingen $l \times b \times h = 20 \times 20 \times 10$ cm

Wegdek van Junushoff	Fractie voegopp. cm^2/cm^2	I_v cm/u			I_s cm/u			Ligging wegdek	Vervulling voeg	Begroeiing voeg %	Onder boom	Opmerkingen
		a	b	c	a	b	c					
P	0,3	28	24	18	8,4	7,2	5,4	+	mv	0		banen van afvloeiend regenwater zichtbaar
Plantsoen												
P	0,3	137	70		41	21		-	v	10 (gras)		} mogelijk 30% lekkage tijdens meting
P	0,3	107	103		32	31	31	+	mv	90 (gras)		
P	0,3	433	207	127	130	62	38	+	v	0	ja	

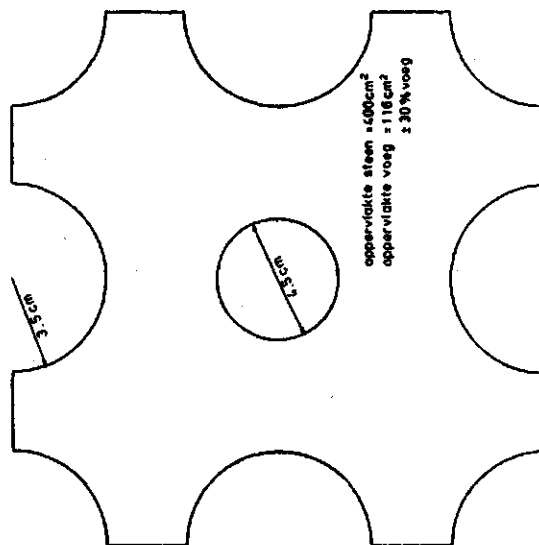


Fig. 7. De graskaïen hebben een hoog percentage voeg.

De gaten zijn gevuld met humus zand en vaak
ingezaaid met gras.

Toepassing: - op parkeerterreinen
- rond straatbomen

3.2. D i s c u s s i e

De metingen zijn over het algemeen uitgevoerd op weinig bereden wegdekken. We vinden vrij hoge infiltratiesnelheden. De infiltratiesnelheid van het wegdek neemt ruwweg toe naarmate de fractie voegoppervlak per straatoppervlak toeneemt. De graskeien met een erg hoge fractie voegoppervlak vertoont een erg hoge infiltratiesnelheid. Het andere uiterste is het warm asfalt, wat geheel ondoorlatend is. Het verband tussen de fractie voegoppervlak en de infiltratiesnelheid is voor de overige bestratingen weergegeven in figuur 8.

De mate van vervuiling van de voegen beïnvloedt de infiltratiesnelheid ook zeer sterk. De voegen, gelegen op de lagere weggedeelten worden door afstromend water meer vervuild en vertonen ook een lagere infiltratiesnelheid. Ter illustratie is in figuur 9 de doorsnede van het wegdek met de infiltratiesnelheden (van de 1^e meting) op de parkeerplaats achter het Staringgebouw getekend.

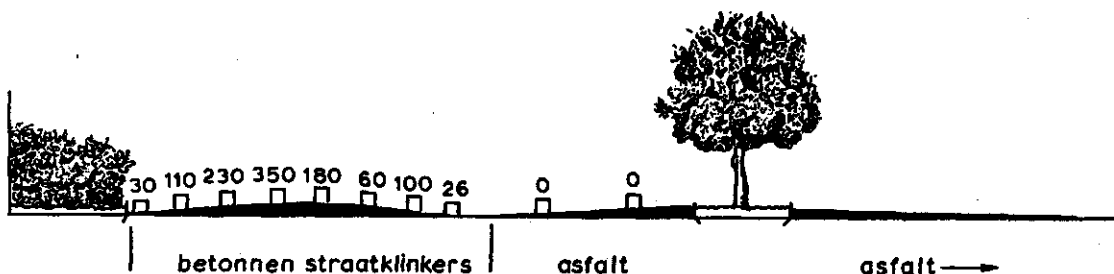


Fig. 9. Invloed van mogelijkheid van inspoeling en vervuiling op I_s ; parkeerplaats Staringgebouw. I_s ingeschreven in mm/uur

In het midden van het wegdek (meetpunt 3, 4 en 5) zijn bredere schone voegen met een hoge infiltratiesnelheid. Aan beide kanten van het wegdek en in de goot vervuilde voegen met een lagere infiltratiesnelheid van de voeg, dus van de weg. De inspoeling en uitspoeling van de voegen is ook goed waar te nemen. De lage delen van het wegdek hebben volledig met zand en vuil gevulde voegen, op de hogere gedeelten zijn de voegen gedeeltelijk leeggespoeld.

De indruk bij het waarnemen van het al of niet lopen van de straatkolkken was bij een regenbui met intensiteit 5 mm/uur als volgt. Op de asfaltwegen stroomt het water naar de straatkolk. Dit was in mindere mate het geval bij de druk bereden klinkerwegen. Op de minder druk bereden klinkerwegen en op parkeerplaatsen met klinkers stroomde vrijwel geen water naar de straatkolk.

3.3. Vergelijk met infiltratiemetingen op parkeerplaats bij Pomona door LH in 1977

In 1977 is op dezelfde plaats bij Pomona een studie gemaakt door de werkgroep Hydraulica en afvoerhydrologie van de LH naar de wijze waarop, de voor een rioleringsysteem kritische zomerregens de riolerings belasten. Hiervoor is een gedeelte van het parkeerterrein van Pomona in proefvakken verdeeld. Met een beregeningsinstallatie is daarna op de proefvakken III en IV een langdurige beregening met een konstante intensiteit uitgevoerd met $P = 72 \text{ mm/uur}$ (ZONDERVAN J.G., 1977).

De proefvakken PIII en PIV waren gesitueerd op dezelfde plaats, waar de infiltratiesnelheden van meetpunt 1 tot en met 6 zijn gemeten (fig. 10).

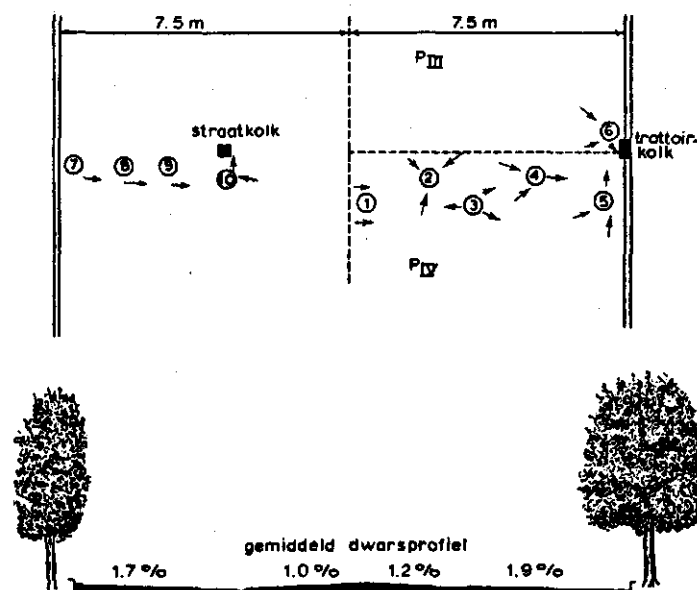


Fig. 10. Situering van de proefvakken III en IV (metingen LH 1977) en de meetpunten 1 tot en met 10 van het eigen onderzoek

De toestand van de bodem was in de zomer 1977 na een langdurige droogteperiode erg droog. Bij het eigen onderzoek was deze meting vochtig.

Bij de metingen van de LH, waarbij de afvoersnelheid bij het riool werd gemeten, is de infiltratiesnelheid te berekenen uit: $I_s = N - \text{Afvoer}$ (N = neerslag).

De infiltratiesnelheid bedroeg op de vakken PIII en PIV respectievelijk 18 en 27 mm.uur⁻¹. Dit komt redelijk overeen met onze eigen metingen. De infiltratiesnelheden gemeten op vak IV waren namelijk 12 tot 39 mm/uur.

4. INFILTRERENDE NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ VERSCHILLENDE WEGDEKKEN, BEREKEND VOOR REGENINTENSITEITEN VAN DE BILT

Valt op een wegdek regen met een intensiteit (I_n) die de mogelijke infiltratiesnelheid (I_s) overtreft, dan zal er regenwater afstromen naar het straatriool, of bij minder goed gelegde bestrating gedeeltelijk in plassen blijven staan en van daaruit langzaam infiltreren of verdampen.

Voor het geval dat er geen plassen blijven staan, kunnen we de gang van zaken tijdens een regenbui bij benadering als volgt voorstellen. Het begint te regenen op een droog wegdek. De straat wordt bevochtigd, waarvoor circa 0,5 mm water nodig is, daarna stroomt het water van de tegels of klinkers af en infiltreert via de voegen naar de ondergrond, zolang de regenintensiteit I_s niet overtreft infiltreert alle regen; zodra dat wel zo wordt, infiltreert I_s mm/min., wat meer valt stroomt af naar het straatriool, zodra de regen ophoudt stopt de infiltratie en ook de afstroming. Na de regen droogt de straat weer op, doordat eenzelfde hoeveelheid water verdampt als nodig was voor de bevochtiging van het wegdek.

Kort gezegd: alle regen die met een grotere intensiteit valt dan de mogelijke infiltratiesnelheid door het wegdek, stroomt af en de rest infiltreert of verdampt. Hiervan uitgaande is te berekenen welk deel van de regenhoeveelheid afstroomt en welk deel infiltreert, wanneer de waarden van I_n bekend zijn.

In het KNMI-rapport 1968: "Detail analyses van pluviogrammen" zijn de gemeten regenintensiteiten in de Bilt verwerkt van de jaren 1928, 1933 en 1951 tot en met 1960 (excl. december 1951).

Alle perioden van 5 minuten waarin meer dan 0,0013 mm neerslag viel zijn afgelezen van de pluviograaf en vervolgens gerangschikt naar regenhoeveelheid, per maand gesommeerd, gegeven (zie bijlage 1, copie tabellen 2192-2203). Ook het totaal aantal natte 5 minuten perioden met de gemiddelde neerslag daarin is gegeven (bijlage 2 tabel B).

Tellen we de regenhoeveelheden van de pluviograafwaarnemingen samen, dan blijkt dat de som in de zomermaanden circa 5% lager en in de wintermaanden circa 20% lager te liggen dan de maandtotalen van de standaard regenmeters over dezelfde jaren. Verder verschillen de maandgemiddelden over de 12 waargenomen jaren ook iets van de gemiddelden over een langere reeks van jaren 1911 - 1975 volgens opgave in KNMI-rapport 1979-4 (zie fig. 11).

De gegevens van de regenintensiteit zijn in overeenstemming gebracht met de gegevens van de standaard regenmeter door aan iedere 5 minuten regen een correctie hoeveelheid toe te voegen die als volgt is berekend:

Totaal neerslag in 12 verwerkte januarimaanden = 880 mm
geregistreerd: 9173 natte 5 minuten perioden à gemiddeld 0,072 mm =
660 mm

Toevoegen aan iedere 5 minuten periode:

$(880 - 660) : 9173 = 0,0218 \text{ mm}$

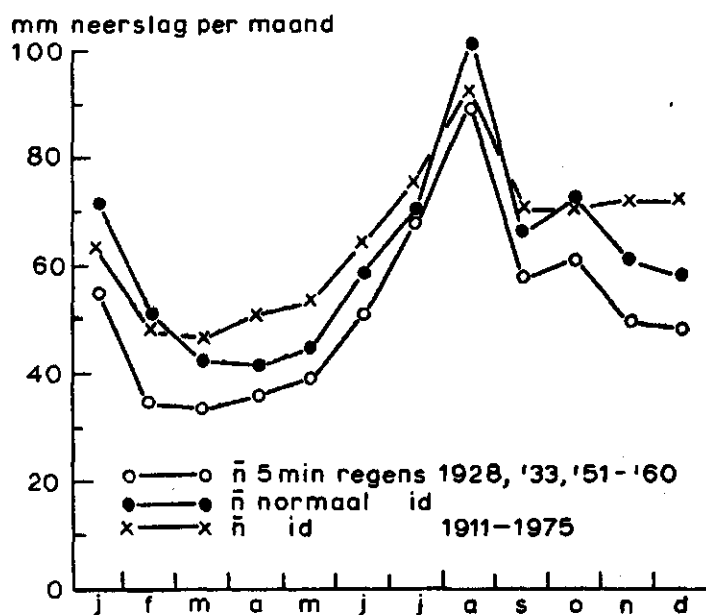


Fig. 11. De gemiddelde neerslaghoeveelheden \bar{n} berekend uit de maandsommen van de 5 minutenregens en de normaal geregistreeerde neerslaghoeveelheden tijdens de 12 meetjaren 1928, 1933 en 1951 - 1960 en over de periode 1911 - 1975 in de Bilt

Berekening afstroming en infiltratie in 12 januarimaanden bij een mogelijke infiltratiesnelheid I_s van 2 mm/uur (= 0,1667 mm/5 min.):

intensiteit regen (mm/5 min)	aantal perioden	afstroming (mm)	infiltratie + verdamping (mm)	
< 0,1218	4825	0	139,40	(1)
0,1218	3194	0	389,03	(2)
0,2218	726	40,0	121,02	(3)
0,3218	265	41,1	44,18	
0,4218	92			
0,5218	36	etc.	etc.	
0,6218	13			
0,7218	10			
0,8218	5			
0,9218	1			
1,2218	6			
<hr/>				
0,0937 (gem)	9173	139,2	720,8	tot. 860 mm
maandgemiddelde	764	11,6	60,1	71,7
%		12,6%	83,8%	100%

(1) = Totaal neerslag - neerslag met intensiteit > 0,1218 mm/5 min.

$$= 860 - 720,6 = 139,40 \text{ mm}$$

(2) = $3194 \times 0,1218 = 389,03$

(3) = $726 \times 0,1667 = 121,02$

(4) = $726 \times (0,2218 - 0,1667) = 40,0$

De zo berekende waarden van gemiddelde maandelijkse afstroming en infiltratie zijn voor alle maanden voor verschillende waarden van I_s gegeven in tabel 6.

Hiervan afgeleid is tabel 7 die de infiltratie per seizoen geeft. Als groeiseizoen is gekozen de periode 1 mei - 1 oktober omdat de meeste straatbomen pas rond 1 mei in blad komen en gaan verdampen in oktober valt het blad en de verdamping stopt weer.

(Bij neerslag en verdampingsoverzichten die meer op gebruik voor landbouw zijn gericht begint men meest vanaf 1 april te tellen.)

De infiltratie gedurende de zomermaanden is relatief lager dan in de wintermaanden, dit komt doordat in de zomer de regen met hogere intensiteit valt, zodat een groter deel afstroomt dan in de winter.

Tabel 6. Afgestroomde en geïnfiltreerde neerslag bij verschillende infiltratiesnelheden door het wegdek berekend uit de 5 minuten regens van de Bilt van 12 jaar (1928, 1933 en 1951 - 1960)

MAAND	INF.S.= 1. MM./UUR		INF.S.= 2. MM./UUR		INF.S.= 3. MM./UUR		INF.S.= 4. MM./UUR		INF.S.= 5. MM./UUR	
	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.
1	29.9	41.8	11.6	60.1	5.3	66.4	2.6	69.1	1.4	70.2
2	21.9	29.3	7.6	43.6	3.4	47.7	2.0	49.3	1.3	50.0
3	17.6	25.3	6.7	36.2	3.1	39.8	1.5	41.3	1.0	41.9
4	20.7	21.6	11.2	31.2	7.3	35.0	5.2	37.1	4.0	38.3
5	31.4	27.4	16.6	42.2	11.0	47.8	8.3	50.5	6.4	52.3
6	37.9	22.5	26.1	34.3	20.1	40.2	16.3	44.1	13.7	46.6
7	47.3	25.6	33.6	39.2	26.1	46.7	21.6	51.3	18.5	54.3
8	69.1	32.8	49.2	52.6	38.1	63.7	30.7	71.1	25.7	76.2
9	38.4	25.1	25.1	38.4	18.0	45.5	13.5	50.0	10.7	52.8
10	40.2	33.0	23.6	49.6	15.3	57.9	10.2	62.9	7.1	66.0
11	27.5	34.2	12.2	49.6	6.4	55.3	3.8	58.0	2.4	59.3
12	24.7	33.5	10.8	47.4	5.5	52.7	3.1	55.1	2.0	56.2

MAAND	INF.S.= 6. MM./UUR		INF.S.= 7. MM./UUR		INF.S.= 8. MM./UUR		INF.S.= 9. MM./UUR		INF.S.= 10. MM./UUR	
	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.
1	0.9	70.8	0.6	71.1	0.4	71.3	0.3	71.4	0.2	71.5
2	0.9	50.4	0.6	50.6	0.5	50.8	0.3	50.9	0.3	51.0
3	0.7	42.2	0.5	42.4	0.3	42.5	0.2	42.6	0.2	42.6
4	3.2	39.1	2.6	39.7	2.2	40.2	1.8	40.5	1.5	40.8
5	5.2	53.6	4.2	54.5	3.5	55.2	3.0	55.7	2.7	56.1
6	12.0	48.3	10.7	49.6	9.6	50.7	8.7	51.6	8.0	52.3
7	16.3	56.5	14.7	58.1	13.4	59.5	12.2	60.7	11.2	61.7
8	22.0	79.8	19.2	82.6	17.0	84.9	15.1	86.8	13.5	88.3
9	8.8	54.7	7.4	56.1	6.3	57.2	5.5	58.0	4.7	58.9
10	5.2	68.0	3.9	69.3	3.0	70.2	2.3	70.9	1.8	71.3
11	1.4	60.1	1.1	60.6	0.8	61.0	0.6	61.2	0.5	61.3
12	1.4	56.8	1.0	57.1	0.8	57.4	0.6	57.5	0.5	57.7

MAAND	INF.S.=12. MM./UUR		INF.S.= 14. MM./UUR		INF.S.= 16. MM./UUR		INF.S.= 18. MM./UUR		INF.S.= 20. MM./UUR	
	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.	AFGSTR.	GEINFILTR.
1	0.1	71.6	0.0	71.6	0.0	71.7	0.0	71.7	0.0	71.7
2	0.2	51.1	0.1	51.1	0.1	51.2	0.0	51.2	0.0	51.2
3	0.1	42.7	0.1	42.7	0.1	42.8	0.0	42.8	0.0	42.8
4	1.0	41.3	0.6	41.7	0.4	41.9	0.3	42.1	0.1	42.2
5	2.1	54.6	1.7	57.0	1.4	57.3	1.2	57.5	1.1	57.7
6	6.8	53.5	5.8	54.6	5.0	55.3	4.5	55.8	3.9	56.4
7	9.5	63.3	8.0	64.8	7.1	65.8	6.3	66.5	5.5	67.3
8	11.1	90.7	8.9	92.9	7.6	94.2	6.6	95.2	5.7	96.2
9	3.6	59.9	2.6	60.9	2.0	61.5	1.6	61.9	1.3	62.2
10	1.2	72.0	0.7	72.5	0.4	72.7	0.3	72.9	0.2	73.0
11	0.3	61.4	0.2	61.5	0.1	61.6	0.1	61.7	0.1	61.7
12	0.4	57.6	0.2	58.0	0.2	58.0	0.1	58.1	0.1	58.1

Tabel 7. Deel van de neerslag wat infiltreert plus verdampt bij verschillende doorlatendheden - gegeven als infiltratiesnelheid I_s - van het wegdek.

(Verdamping vanaf wegoppervlak in het "groeiseizoen" 1 mei - 1 okt. is circa 35 mm en van 1 okt. - 1 mei is circa 45 mm. Gemiddelde neerslag de Bilt in de waarnemingsjaren 1928, 1933 en 1951 tot en met 1960 was 347 mm van 1 mei - 1 okt. en 401 mm van 1 okt. - 1 mei in 1911 tot en met 1975 respectievelijk 354 en 429 mm.)

Periode	Infiltratie bij een I_s van										
	0,33	1	2	3	4	5	6	8	10	20	mm/uur
	(in % van neerslag)										
1 mei - 1 okt.	16	37	58	68	75	79	82	86	89	95	
1 okt. - 1 mei	25	54	79	88	93	95	97	98	99	100	
jaar	20	46	69	79	84	88	88	92	94	98	

De verdamping vanaf het straatoppervlak

Over de grootte van deze verdamping is een aanwijzing te vinden in de waterbalans van 1972 en 1973 van een weinig begroeide volledig geplaveide parkeerplaats (45% asfalt 55% tegels en betonklinkers) in Lelystad (v.d. BERG en VEN, 1977).

Het verschil tussen neerslag en waterafvoer via straatriool plus ondergrond-drainage bedroeg 80 mm/jaar in deze twee wat regen en verdamping betreft normale jaren. Het is niet onwaarschijnlijk dat de verdamping 's winters minstens zo groot is als 's zomers. In de winter regent het namelijk frequenter en ook 's winters droogt het wegdek wel op. De verdamping van een droog wegdek is zeer klein, ook na zeer lange perioden van droogte wordt nog nauwelijks waterverlies gemeten uit het zand onder trottoirtegels. Hoge winterverdamping wordt ook gevonden op kaal duinzand. Wat in zoverre met tegels overeenkomt dat wanneer het bovenste laagje is opgedroogd de verdamping sterk terugloopt. Op een lysimeter in Castricum was de verdamping in 1967 in winter en herfst 1,03 mm/dag en in voorjaar en zomer 0,60 mm/dag. Terwijl de berekende open waterverdamping respectievelijk 0,67 mm en 2,83 mm/dag was (KEYMAN en SCHIPPER, 1978).

Het een en ander leidt tot de schatting dat in de periode 1 mei - 1 oktober circa 35 mm en van 1 oktober - 1 mei circa 45 mm neerslag van het wegdek verdampt.

De regen die verdampt van enigszins doorlatende wegdekken wordt in mindering gebracht op de infiltrerende neerslag, het zal namelijk zeer zelden voorkomen dat het begin van een regenbui waardoor de straat nat wordt, zo heftig is dat de infiltratiesnelheid van de straat wordt overschreden en dat door de absorbtie van water door het wegdek, de afstroming wordt beïnvloed.

Opmerkingen

De gebruikte berekening blijft een vereenvoudiging van de werkelijkheid, waardoor de uitkomst van de berekening wel eens wat zal kunnen afwijken van die werkelijkheid.

Zo is het mogelijk dat 's winters extra afstroming plaats heeft, wanneer de ondergrond bevroren is, maar ook is het mogelijk dat het hoge intensiteit gevallen sneeuw langzaam smelt en infiltreert waardoor weer minder dan normaal afstroomt.

Treedt plasvorming op dan zal een groter deel van de neerslag infiltreren of verdampen.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor in de Bilt voorkomende regenintensiteiten. Het is niet onmogelijk dat elders in het land, bijvoorbeeld vlak aan de kust of verder landinwaarts, de regenintensiteiten gemiddeld afwijken van die in de Bilt zodat ook de verdeling tussen afstromende en infiltrerende neerslag zal gaan afwijken.

Stijgt het grondwater tot bij het straatoppervlak dan daalt uiteraard de infiltratie ook.

5. BEREKENING HOEVEEL WATER INFILTREERT BIJ ENKELE WEGDEKKEN EN OPSTELLEN VAN EEN WATERBALANS

5.1. De hoeveelheid water die infiltreert bij de parkeerplaats voor de Hema bij de Junushoff

In figuur 12 is de doorsnede, de aanwezige bestratingen en de situering van de meetpunten van het wegdek weergegeven. Van dit gehele wegdek wordt nu berekend hoeveel water per jaar infiltreert en afstroomt. Van ieder afzonderlijk weggedeelte is de infiltratiesnelheid I_s bekend (tabel 1 tot en met 5 op blz. 14 tot en met 18) en het percentage van het totale oppervlak wordt berekend. De hoeveelheid geïnfiltreerd en afgestroomd water wordt berekend met behulp van tabel 7.

De som van de geïnfiltreerde hoeveelheid water maal het percentage van het totale oppervlak van iedere afzonderlijke bedekking geeft de hoeveelheid water die door het gehele afgebakende wegdek infiltreert. Zo is ook de afgestroomde hoeveelheid water te berekenen.

In de tabel 8 zijn de resultaten tijdens het zomer- en winterseizoen vermeld.

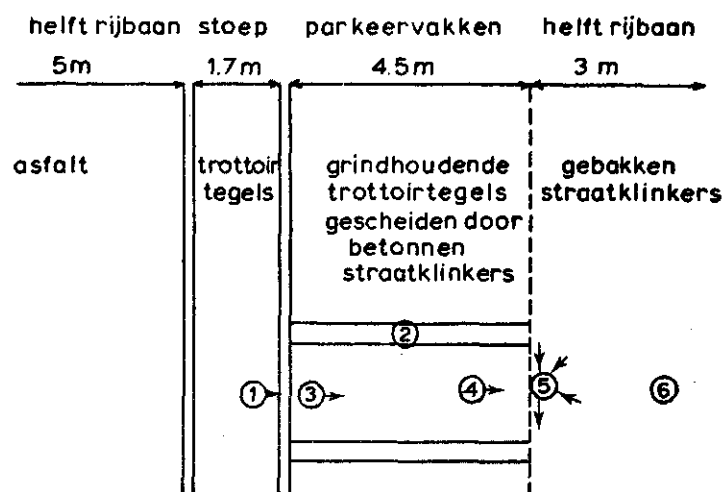


Fig. 12. Parkeerplaats Junushoff, voor Hema

Tabel 8a. Infiltratie en afstroming van neerslag tijdens een gemiddeld jaar, parkeerplaats bij Hema, Wageningen
1 mei tot 1 oktober, totale neerslag 356 mm

	I_s (mm/u)	Perc. van het totale oppervlak	Geïnfiltreerd + verdampt (in mm)	Afgestroomd (in mm)
Asfalt	0	35	35	321
Trottoirtegel	3,5	12	252	104
Grinth. trot.tegel	18	32	334	22
Gebakken straatkl.	24	21	346	12
Totale oppervlakte		100	235	141

Tabel 8b. 1 oktober tot 1 mei, totale neerslag 401 mm

	I_s (mm/u)	Perc. van het totale oppervlak	Geïnfiltreerd + verdampt (in mm)	Afgestroomd (in mm)
Asfalt	0	35	45	356
Trottoirtegel	3,5	12	365	36
Grinth. trot.tegel	18	32	396	1
Gebakken straatkl.	24	21	400	1
Totale oppervlak		100	271	131

5.2. De hoeveelheid water die infiltreert en afstroomt op parkeerplaats bij Pomona

In figuur 10 is de plattegrond van het wegdek weergegeven. Het is een bestrating met betonnen straatklinkers (22 x 11 x 8 cm). De infiltratiesnelheden zijn voor:

meetpunt 1 tot en met 3 (representatief voor 50% oppervlak) = 23 mm/u
 meetpunt 4 tot en met 6 (representatief voor 20% oppervlak) = 12 mm/u
 meetpunt 7 tot en met 10 (representatief voor 30% oppervlak) = 34 mm/u

De geïnfiltreerde en afgestroomde hoeveelheden water van de afzonderlijke meetgebieden en van de gehele parkeerplaats zijn op de methode als in 5.1. berekend en in tabel 9 vermeld.

Tabel 9a. Infiltratie en afstroming van neerslag tijdens een gemiddeld jaar, parkeerplaats Pomona, Wageningen
 1 mei tot 1 oktober, 356 mm neerslag

Plaats	I_s (mm/u)	Perc. v.d. tot. opp.	Geïnfiltreerd + verdampt (mm)	Afgestroomd (mm)
1 tm 3	23	50	339	17
4 tm 6	12	20	324	32
7 tm 10	34	30	348	8
Totale oppervlakte		100	339	17

Tabel 9b. 1 oktober tot 1 mei, 401 mm neerslag

Plaats	I_s (mm/u)	Perc. v.d. tot. opp.	Geïnfiltreerd + verdampt (mm)	Afgestroomd (mm)
1 tm 3	23	50	400	1
4 tm 6	12	20	398	3
7 tm 10	34	30	401	0
Totale oppervlakte		100	400	1

Volgens deze berekeningen stroomt dus slechts een zeer klein gedeelte van de neerslag af naar de straatkolk en stroomt 659 mm of 87% van de totale neerslag naar de ondergrond, als we aannemen dat 80 mm per jaar verdampt van het wegdek.

In het winterseizoen zal wel wat meer afstromen dan berekend is, als gevolg van smeltwater dat niet door de nog bevroren ondergrond heen kan dringen. Hiermee is geen rekening gehouden.

5.3. Water balans van de parkeerplaats achter het Staringgebouw

Op het parkeerterrein achter het Staringgebouw (betonnen straatklinkers en asfalt) zijn infiltratiemetingen verricht (plattegrond zie fig. 13). De ondergrond bestaat uit een pakket straatzand van + 90 cm op vastgereden rivierklei. Op de grondstroken die de parkeervakken scheiden is in 1978 het straatzand uitgegraven en opgevuld met rivierklei om de groeiomstandigheden van de bomen te verbeteren.

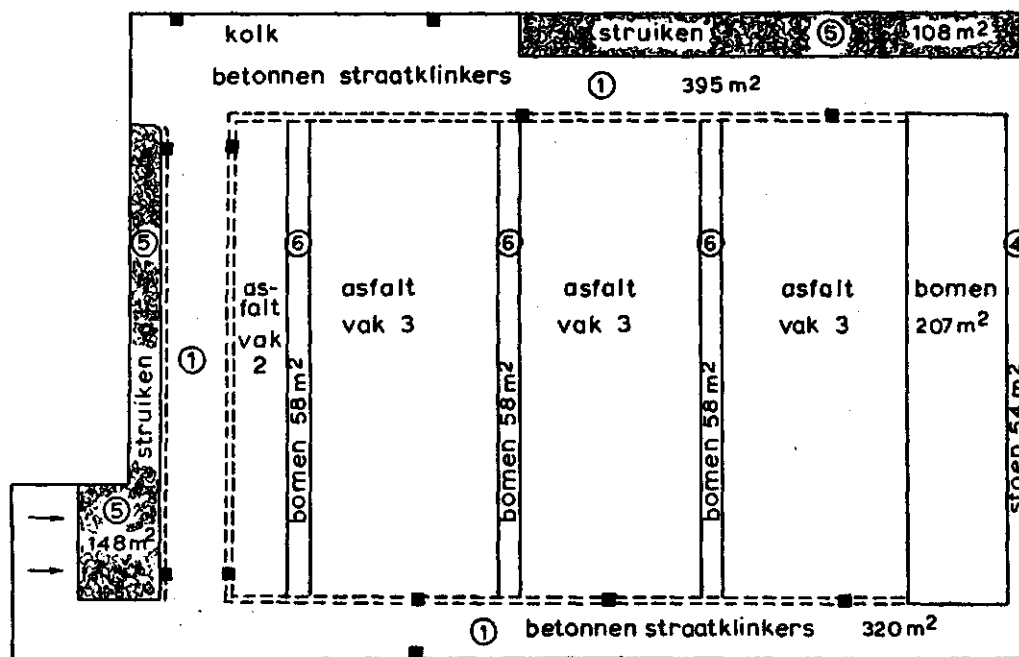


Fig. 13. Plattegrond van de parkeerplaats achter het Staringgebouw

Het regenwater dat op het asfalt komt stroomt bij een bui van enige omvang af naar de goot waarvan de voegen dan bedekt blijven met water. We mogen dan veronderstellen dat in de goot, tijdens de regenval de maximale hoeveelheid water infiltreert.

Deze hoeveelheid wordt omgerekend naar de totale oppervlakte asfalt + goot welke 1675 m^2 bedraagt. De infiltratiesnelheid van het wegdek in de goot is 27 mm/uur . De infiltratiesnelheid voor de totale oppervlakte asfalt + goot is dan gelijk aan:

$$I_{\text{goot}} \times \frac{b \text{ goot}}{b \text{ asfalt} + b \text{ goot}}$$

en bedraagt voor:

$$\text{vak (2)} : 27 \times \frac{0,4}{4,5 + 0,4} = 2,2 \text{ mm/uur}$$

$$\text{vak (3)} : 27 \times \frac{0,4}{18 + 0,4} = 0,6 \text{ mm/uur}$$

De infiltratiesnelheid $0,6 \text{ mm/uur}$ voor de parkeervakken (3) ronden we af op 1 mm/u , omdat gegevens omtrent geïnfiltreerde en afgestroomde hoeveelheid water beginnen bij een infiltratiesnelheid van 1 mm/u . Het verschil van $0,4 \text{ mm/u}$ wordt waarschijnlijk gedeeltelijk gecompenseerd door het water wat na de bui in de goot blijft staan en na verloop van tijd infiltreert.

Van dit gehele terrein gaan we nu de waterbalans opstellen. Hiervoor zijn de volgende gegevens nodig van infiltratie en verdamping:

De oppervlakten van de wegdekken met infiltratiesnelheden en percentages infiltrerende + verdampde neerslag

	Opp. (m ²)	I _s mm/uur	% infiltratie	
			zomer	winter
1. betonnen straatklinkers	915	170	100	100
2. asfalt + goot	160	2,2	60	81
3. asfalt + goot	1520	1,0	37	54
4. stoep met trottoirtegels	54	3	68	88
5. grond met struiken en gras	256	∞	100	100
6. grond met bomen	444	∞	100	100

V e r d a m p i n g

Op de parkeerplaats staan in 1,60 m brede stroken "open" grond kleine essen van 4 à 5 meter hoog op onderlinge afstand van circa 4,5 meter.

Periode 1 mei - 1 oktober

De verdamping van bomen + ondergrond is bij voldoende wateraanvoer circa 1,5 x de berekende verdamping van open water: E_o over een oppervlakte gelijk aan de kruinprojectie. In 1980 is de kruinprojectie circa gelijk aan de oppervlakte van de strook open grond (N^o6 op tek. 13).

Verder is:

verdamping struiken: $0,8 \times E_o$

verdamping wegdek : 35 mm

Als E_o kiezen we de gemiddelde E_o voor de Bilt = 501 mm.

Periode 1 oktober - 1 mei

De relatie tussen E_o en verdamping tijdens de winterperiode is minder duidelijk dan die voor de zomerperiode (KEYMAN en SCHIPPER, 1978).

Een grove schatting is:

verdamping kale grond onder bomen : $0,6 \times E_0$

verdamping groenblijvende struiken en gras : $0,8 \times E_0$

verdamping wegdek : 45 mm

$E_0 = 175$ mm

Met deze gegevens plus die van infiltratie en neerslag is de waterbalans op te stellen (tabel 10).

Tabel 10. Waterbalans parkeerterrein Staringgebouw voor een gemiddeld jaar

Onderdeel	Z opp.	1 mei - 1 okt. (neerslag 356 mm)			1 okt. - 1 mei (neerslag 400 mm)		
		Afgestr. (mm)	Infiltr. + verd. (mm)	Verdamp (mm)	Afgestr. (mm)	Infiltr. + verd. (mm)	Verdamp (mm)
1. Klinkers	27,4	0	356	35	0	401	45
2. Asfalt + goot	4,8	149	207	35	84	317	45
3. Asfalt + goot	45,2	223	133	35	183	218	45
4. Tegels	1,6	149	207	35	84	317	45
5. Struiken	7,7	0	356	400	0	401	140
6. Bomen	13,3	0	356	751	0	401	105
Totaal	100	110*	246	158	88	313	60

	Hele jaar				
	Neerslag (mm)	Afgestr. (mm)	Infiltr. + verd. (mm)	Verdamp (mm)	Infiltr. overschot (mm)
Totale terrein	757	198	559	218	341

*110 = $0,274 \times 0 + 0,048 \times 149 + 0,452 \times 223$ etc.

K o m m e n t a a r

Op dit parkeerterrein is ook in de zomerperiode de gemiddelde verdamping kleiner dan de hoeveelheid neerslag die niet via het riool wegstroomt; er moet dus ook 's zomers water ondergronds afgevoerd worden.

Of al de bomen ook van het wateroverschot profileren is vaak nog de vraag. Zo zullen bomen die midden tussen de asfaltvakken staan niet direkt profijt hebben van regen die op 10 à 15 meter afstand via het klinkerdek kan infiltreren. Omdat het grondwater regelmatig tot in de zandlaag staat zal in dit geval wel vrij gemakkelijk water naar deze bomen toestromen.

Wanneer de nu nog kleine bomen groter worden zal de verdamping de hoeveelheid niet afgestroomde regen gaan overtreffen. Over het gehele terrein gerekend verdampen de bomen nu 751 mm over 13,3% van het oppervlak = 100 mm.

Wanneer de kruindiameter is toegenomen van 2 à 3 meter tot 4 à 5 meter dan zal de boomverdamping minstens 200 mm zijn en de totale terreinverdamping minstens 250 mm per zomerperiode worden.

6. LITERATUUR

- BAKKER, J.W., J.P. COUENBERG en G.T. VISSER, 1979. Bodemverbetering rond straatbomen met zand-zwartveenmengels. Groen. 35:229-231
- BERG, v.d. J.A. en G.A. VEN, 1977. Kwantitatieve aspecten van de afvoer van regenwater in stedelijke gebieden. H₂O. 10:200-203
- BRUIN, de H.A.R., 1979. Neerslag, openwaterverdamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland. Frequentieverdelingen in het groeiseizoen. Rapport KNMI 79-4
- KEYMAN, J.Q. en W. SCHIPPER, 1978. Waterhuishouding lysimeters Castri-cum in 1967. Rapport KNMI 78-5
- KNMI, 1968. Detailanalyse van pluviogrammen A. Frequentieverdelingen van de hoeveelheden neerslag in tijdvakken van 5-660 minuten. De Bilt 1928, 1933 en 1951-1960
- MEYER, F.H., 1979. Bäume in der Stadt. Verl. Eugen Ulmer Stuttgart 327 pp.
- VERHAEGH, W.B., 1979. Weerstand voor gasdiffusie en waterdoorlatendheid van enkele soorten poreuze trottoirbestratingen. Nota ICW no. 1111
- ZONDERVAN, J.G. en A. DOMMERHOLT, 1977. De toevoer van regenwater naar een straatkolk. H₂O. 10:204-207