



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

93-1094-BiB

A.J.H. de Beaufort <i>[Signature]</i>	A.S. Beene <i>[Signature]</i>	Chr. de Boer <i>[Signature]</i>
--	----------------------------------	------------------------------------

0203

15 OKT. 1993



dienst **weg en water** bouwkunde



Kwaliteit van de afgevoerde neerslag van een hoofdweg in Lelystad

In de woonwijk Bastion in Lelystad wordt door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) onderzoek verricht naar de kwaliteit van het afstromende regenwater. Naar verwachting wordt daarmee een goede indruk verkregen van de met de neerslag afstromende verontreiniging. Metingen elders in Lelystad bevestigen dit [Uunk, 1984]. Hoofdwegen komen in dergelijke wijken echter niet voor; in de hedentijdse stedenbouw zijn de woonwijken als het ware als eilanden vervlochten in een net van hoofdwegen. Omdat bekend is dat het



F. H. M. VAN DE VEN
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Wetenschappelijke Afd. Lelystad, thans DBW/RIZA



A. OLDENKAMP
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Wetenschappelijke Afdeling Lelystad

verkeer een belangrijke bron is van verontreiniging [o.a. Nelissen, 1982], is het gewenst om enig inzicht in de omvang hiervan te krijgen, temeer omdat de tendens bestaat om steeds meer hoofdwegen alsnog te rioleren. De regenwaterafvoer loost dan vaak direct op het oppervlaktewater, terwijl in het verleden het water goeddeels afstroomde via en infiltreerde in de wegbermen [Voortman, 1977].

Om de benodigde metingen te kunnen verrichten is een deel van de zuidelijke rijbaan van een hoofdweg in Lelystad ingericht als meetgebied. Er is op zo eenvoudig mogelijke wijze een meetopstelling gemaakt met als doel om ca. 10 buien te bemonsteren. Met de resultaten wordt een indruk verkregen van de omvang van de verontreiniging.

Meetgebied en meetmethode

Nadat een geschikte locatie op de Houtribdreef was gevonden, is de weg gewaterpast. Het stroomgebied dat afvoerde op één rioolkolk is aan de hand van de resultaten vastgesteld. De natuurlijke waterscheiding is door het aanbrengen van plakstrepen verhoogd, waardoor een scherpe begrenzing van het stroomgebied verkregen is. Het gebied heeft een oppervlakte van 176 m² (22 x 8 m). Het wegdek is van asfalt. Zie afb. 1. Bij neerslag stroomt het afstromende water via de bestaande rioolkolk het regenwaterriool in.

Voor het onderzoek is een PVC-tank (inhoud ca. 3 m³ ofwel ca. 17 mm) in de grond aangebracht en is de afvoer van de kolk daarop aangesloten. Deze aansluiting is zo ge-

construeerd, dat bij een volle tank het overtollige water alsnog het riool instroomt. De tank is voorzien van een afsluiter en een mangat. Na elke neerslaggebeurtenis is de tank leeggepompt, schoongemaakt en uitgewassen met gedemineraliseerd water. Tijdens het onderzoek is juist buiten het meetgebied een verkeersteller geplaatst. Deze meter is, met uitsluiting van de weekenden, dagelijks opgenomen. De metingen liepen van april tot november 1984. De volgende gemiddelde verkeersintensiteiten zijn waargenomen:

vrijdag t/m zondag	8519 voertuigen
maandag	3343 voertuigen per dag
dinsdag	3561 voertuigen per dag
woensdag	3601 voertuigen per dag
donderdag	3435 voertuigen per dag
gemiddeld	3189 voertuigen per dag.

Doordat alle neerslag van één bui in de tank werd verzameld is elk genomen monster automatisch een volume-proportioneel monster. Helaas is gedurende de waterkwaliteitsbemonsteringen de in de tank aanwezige hoeveelheid water niet gemeten, waardoor geen gegevens bekend zijn over de afgevoerde hoeveelheden en de afvloeiingscoëfficiënt. Aanvullende metingen zijn verricht om deze grootheden te bepalen. De tank is daartoe geijkt en van een 13-tal buien in de periode maart '86 tot juli '86 is de neerslagsom en de in de tank opgevangen hoeveelheid afvoer gemeten. Deze metingen zijn verwerkt en hebben de volgende regressievergelijking opgeleverd: Opgevangen hoeveelheid (mm) = 0,77 x neerslagsom (mm) - 0,54. De correlatiecoëfficiënt voor deze vergelijking is 0,984. Naast de normale neerslagverliesprocessen als verdamping, bevochtiging en berging in plassen speelt bij dergelijke wegen ook het neerslagverlies door verstuiving van water een rol.

De monsters zijn voor zover mogelijk geanalyseerd door het RIJP-laboratorium. De PAK-bepalingen en de bepalingen van enige andere organische componenten zijn echter verricht in het RIZA-laboratorium.

In totaal zijn 71 verschillende waterkwaliteitsvariabelen in de monsters bepaald.

Resultaten

In tabel I is een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten. De gewogen gemiddelden, de mediaan, het minimum en het maximum van de gemeten concentraties staan eveneens vermeld, alsmede de afgestroomde hoeveelheden verontreiniging in g · km⁻¹ · a⁻¹ of kg · km⁻¹ · a⁻¹. Daarbij is uitgegaan van een gemiddelde neerslaghoeveelheid van 747 mm per jaar [Van de Ven, in voorber.] en een afvloeiingscoëfficiënt van 0,69. Deze coëfficiënt is afgeleid uit de totale neerslagsom en de totale hoeveelheid afvoer van de 13 buien in de periode maart '86 tot juli '86.

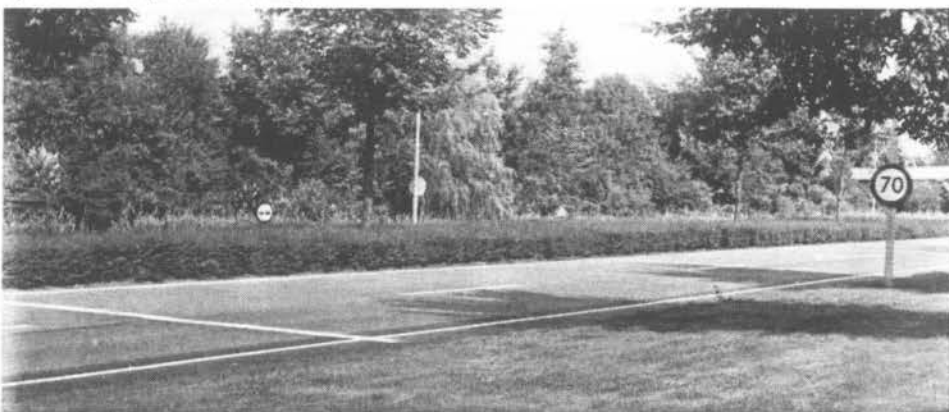
In totaal zijn in de periode juni '84 tot en met juni '85 11 buien bemonsterd, in omvang variërend tussen 3,0 en 27 mm neerslag. Bij de bui van 27 mm werd de tank gedurende de bui leeggepompt en werd het monster samengesteld uit het water in de tank vóór het leegmaken en dat erna.

Niet alle chemische bepalingen zijn in alle monsters gedaan; met name in de bepaling van organische verbindingen is een aantal variabelen geschrapt omdat deze in de eerste vier buien niet konden worden aangetoond. Voor de berekening van de gemiddelde concentraties zijn de meetwaarden gewogen met de hoeveelheid neerslag. Voor waarden kleiner dan de detectielimiet (dl) is 0,5 * dl genomen. Zowel de gewogen gemiddelden als de mediaan zijn gebruikt voor de verdere berekeningen.

Ter vergelijking van de meetresultaten met elders gevonden waarden is in tabel II een vergelijkend overzicht gegeven.

De mate van bacteriologische verontreiniging van de Houtribdreef is in vergelijking met de woonwijken in binnen- en buitenland groot. De directe bemesting door honden en vogels zal op een stadshoofdweg als de Houtribdreef beperkt zijn, maar niet onmogelijk. Indirecte bemesting is mogelijk door het meevoeren

Afb. 1 - Het meetgebied Houtribdreef.



TABEL 1 – De kwaliteit van de regenwaterafvoer van een hoofdweg (Houtribdreef, Lelystad).

			Gewogen				Vracht (op basis van gemiddelde [a] en mediaan [b])				
Eenheden			Aantal bepalingen	gem. [a]	Mediaan [b]	Minimum	Maximum	kg · km ⁻¹ · a ⁻¹ [a]	kg · km ⁻¹ · a ⁻¹ [b]	mg · km ⁻¹ per voertuig [a]	mg · km ⁻¹ per voertuig [b]
Neerslag	totaal 95,9	mm	11		7,8	3	27				
Afvoer	totaal 67,8	mm	11		5,46	1,77	20,22				
Mg. gesusp. mat. – tot. dr. gew.		mg/l	11	149,65	98,9	15,9	380,3	617,08	407,81	530,14	350,36
– asrest		mg/l	11	102,76	65,7	8,9	265	423,71	270,91	364,02	232,74
– org. stof		mg/l	11	46,91	33,3	7	115,3	193,42	137,31	166,16	117,96
Faecale streptococci		MPN/100 ml	8	23.430	10.500	1.000	260.000	–	–	–	–
Thermo tol. gist. bact.		MPN/100 ml	8	8.294	3.950	810	63.000	–	–	–	–
NH ₄		mgN/l	11	1,22	1,3	0,29	2,5	5,02	5,36	4,32	4,6
NO ₃ + NO ₂		mgN/l	11	0,9	0,9	0,2	2,3	3,72	3,71	3,2	3,18
Tot. N. vlgs. Kjeldahl		mgN/l	11	0,33	2,7	0,8	10	13,73	11,13	11,8	9,56
Tot. N. vlgs. Kjeldahl gefiltr.		mgN/l	11	1,51	1,6	0,2	3,3	6,23	6,6	5,36	5,66
BZV 20-5		mg O ₂ /l	11	8,95	5	2	22	36,89	20,62	31,7	17,72
BZV 20-5 gefiltr.		mg O ₂ /l	10	1,91	2,5	1	5	7,87	10,31	6,76	8,86
BZV 20-2		mg O ₂ /l	8	4,44	4	2	7	18,33	16,49	15,74	14,18
BZV 20-10		mg O ₂ /l	10	14,81	8,5	4	26	61,07	35,05	52,46	30,12
BZV 20-10 ongeremd		mg O ₂ /l	10	16,54	11,5	4	29	68,19	47,42	58,58	40,74
CZV		mg O ₂ /l	11	120,3	78	19	280	496,04	321,63	426,16	276,32
CZV gefiltr.		mg O ₂ /l	10	18,45	19	7	49	76,1	78,35	65,38	67,3
P-totaal		mg/l	11	0,34	0,26	0,05	0,76	1,39	1,07	1,2	0,92
P-totaal gefiltr.		mg/l	10	0,2	0,03	0	0,08	0,08	0,12	0,08	0,1
P-ortho		mg/l	11	0,1	0,011	0,002	0,027	0,036	0,045	0,03	0,038
Cl		mg/l	11	93,59	6	1	824	385,93	24,74	331,56	21,26
Fe		mg/l	9	6,9	5,41	1,92	18,18	28,44	22,31	24,44	19,16
Fe gefiltr.		mg/l	9	0,14	0,11	0,05	0,57	0,57	0,45	0,5	0,38
pH			9	6,65	6,81	5,8	7,8				
Spec. geleidingsvermogen		µS bij 18 °C	7	497,3	81	62	2.750				
Temp.		°C	5	14,88	14	8	17,5				
Actuele O ₂ -gehalte		mg/l	5	9,13	9	8,3	9,9				
Olie		mg/l	10	6,67	3,97	1,48	16	27,5	16,37	23,62	14,06
SiO ₂		mg/l	10	0,64	0,675	0,29	1,28	2,62	2,78	2,26	2,4
SO ₄		mg/l	10	9,65	10,25	4,8	14,4	39,78	42,27	34,18	36,32
Ca gefiltr.		mg/l	10	5	5,05	2,9	8,4	20,64	20,82	17,72	17,88
Mg gefiltr.		mg/l	10	0,45	0,45	0	1,6	1,86	1,86	1,6	1,6
K		mg/l	10	0,78	0,65	0,6	1,7	3,21	2,68	2,76	2,3
Na		mg/l	10	3,33	3,2	1,6	7,3	13,72	13,2	11,78	11,34
Alkaliteit CO ₃		mg/l	10	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO ₃		mg/l	10	15,7	16	9	29	64,74	65,98	55,62	56,68
OH		mg/l	10	0	0	0	0	0	0	0	0
POC		mg C/l	9	29,7	20	8,1	71,5	122,46	82,47	105,2	70,68
DOC		mg C/l	9	2,94	3,1	0,2	6,2	12,11	12,78	10,4	10,98
Pb		µg/l	10	445,98	342,5	143	1.289	1,84	1,41	1,58	1,22
Cd		µg/l	9	2,41	1,6	0,9	6,5	0,01	0,007	0,008	0,006
Cu		µg/l	10	77,9	49,15	25,2	179	0,321	0,203	0,276	0,174
Cr		µg/l	9	15,95	10,3	< 5	47,5	0,066	0,042	0,056	0,036
Zn		µg/l	10	325,72	247,5	124	719	1,343	1,021	1,154	0,876
Ni		µg/l	9	13,85	9,9	4,6	42,7	0,057	0,041	0,05	0,036
Pb gefiltr.		µg/l	9	5,55	7,9	< 5	23	0,023	0,033	0,02	0,028
Cu gefiltr.		µg/l	9	8,51	10,3	< 5	13,9	0,035	0,042	0,03	0,036
Zn gefiltr.		µg/l	10	114,86	90,5	46,5	302	0,474	0,373	0,406	0,32
Fluor antheen Flu		ng/l	8	1.873,97	735	90	7.200	7,73	3,03	6,64	2,6
Benzo (b) fluor antheen Bbf		ng/l	8	815,05	435	90	2.400	3,36	1,79	2,88	1,54
Benzo (k) fluor antheen BkF		ng/l	8	284,24	140	50	1.000	1,17	0,58	1	0,5
Benzo (a) pyreen BaP		ng/l	8	427,83	200	60	1.500	1,76	0,82	1,52	0,7
Benzo (ghi) peryleen Bghip		ng/l	8	458,39	210	60	1.800	1,89	0,87	1,62	0,74
Indeno (1,2,3-c,d) pyreen IP		ng/l	8	672,44	375	70	2.000	2,77	1,55	2,38	1,32
α Hexachloorcyclohexaan		µg/l	9	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,035	0,041	0,03	0,036
Hexachloorbenzeen		µg/l	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,02	< 0,02	< 0,016	< 0,016
γ Hexachloorcyclohexaan		µg/l	9	0,06	0,04	< 0,01	0,13	0,242	0,165	0,208	0,142
Heptachloor		µg/l	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,02	< 0,02	< 0,016	< 0,016
Aldrin		µg/l	4	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,005	< 0,062	< 0,062	< 0,054	< 0,054
Heptachloor epoxide		µg/l	4	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,042	< 0,042	< 0,036	< 0,036
α Endosulfan		µg/l	9	0,02	0,02	< 0,01	0,04	0,102	0,082	0,088	0,07
Dieldrin		µg/l	4	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,046	< 0,082	< 0,04	< 0,072
p.p ' DDE		µg/l	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,02	< 0,02	< 0,016	< 0,016
o.p ' DDD		µg/l	4	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,042	< 0,042	< 0,036	< 0,036
Endrin		µg/l	4	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,062	< 0,062	< 0,052	< 0,052
p.p ' DDD		µg/l	4	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,062	< 0,062	< 0,052	< 0,052
o.p ' DDT		µg/l	4	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,062	< 0,062	< 0,052	< 0,052
p.p ' DDT		µg/l	4	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,082	< 0,082	< 0,072	< 0,072
Pentachloor fenol		µg/kg	6	0,1	0,105	0,03	0,25	0,424	0,433	0,364	0,372
As		µg/l	10	2,71	1,9	0,2	8,5	11,16	7,83	9,58	6,74
Dichloor methaan		µg/l	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	< 2,06	< 2,06	< 1,76	< 1,76
Trichloor methaan		µg/l	8	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,206	< 0,206	< 0,176	< 0,176

TABEL II – Gemiddelden en/of boven- en ondergrenzen van de concentraties van verontreinigingen in het afgevoerde regenwater van enige gebieden (minimum - gewogen gemiddelde - maximum).

Kwaliteitsvariabele	Eenheid	Houtribdreef	Verkeersweg Florida ¹	Autoweg ²	Woonwijk ³ Bastion	Woonwijk ⁴	Stedelijk ⁵ gebied	IMP-norm Basiskwaliteit oppervlaktewater
Faec. Coli.	MPN/100 ml	8.300 (gew. gem.)	2.400	10-1.000	13.115 (gew. gem.)	1.530-132.500		mediaan MPN ≤ 2.000
Faec. Strept.	MPN/100 ml	23.000 (gew. gem.)	2.900		28.465 (gew. gem.)	20.000		
Zwevende stof	mg/l	16-150-380	15	28-1.178	41,9	59-930		
Org. Zw. st.	mg/l	7-47-115		18-86	13,2	33-74		
BZV 20-5	mg/l	2-8,95-22	9	12-32	3,6	7-13	5	
CZV	mg/l	19-120-280	59	128-171	24	37-99		
DOC	mg/l	0,2-2,94-6,2			2,09	5-21		
N-NH ₄	mg/l	0,3-1,2-2,5	0,13	0,002-2,1	1,05	0,15-2,5	1	
N-NO ₃	mg/l	0,2-0,9-2,3	0,28		1,05	0,1-1,7	10	
N-Kjeldahl	mg/l	0,8-3,3-10	0,68		1,77	1,5-3,6		
P-tot.	mg/l	0,05-0,3-0,76	0,08		0,42	0,22-1,5		
Zn	µg/l	124-326-719	90		414	100-320	440	200
Pb	µg/l	143-446-1.290	282	150-2.900	76	50-310	90	50
Cu	µg/l	25,2-77,9-179	6,5		12,6	< 6-57	19	50
Cr	µg/l	< 5,0-16-48	17		10,9	< 5-45		
Cd	µg/l	0,9-2,4-6,5	0,7		0,8	< 0,5-2,9		2,5
Ni	µg/l	4,6-13,9-42,7			16,3		16	50
Σ PAK (6 Borneff)	µg/l	0,42-4,53-15,9			0,92		0,23-2,2 ⁶	mediaan som ≤ 0,1
α-HCH	µg/l	< 0,01- < 0,01- < 0,01			0,01		0,02	0,02
Minerale olie	mg/l	1,5-6,7-16			1,02	0,5-1,0		

¹ Gemiddelden van 13-280 monsters: Mattraw [1978] in NWRW [1986].

² Ellis [1986]; monsters waarschijnlijk afkomstig van de M1 nabij Londen; zeer hoge verkeersintensiteit.

³ Gewogen gemiddelde concentratie over alle afvoer in '82, '83 en '84 van het stedelijk Wateronderzoek in Lelystad.

⁴ NWRW [1986].

⁵ Monsters van regenwaterafvoer genomen op meer dan 80 plaatsen verspreid over de stedelijke agglomeratie rond Toronto [Marsalek, 1986].

⁶ Metingen aan bergingsvijvers voor regenwaterafvoer van de A1 door Zuiveringsschap Amstel- en Gooiland [Feenstra en v.d. Most, 1985].

van dierlijke faeces aan de banden van de voertuigen afkomstig van het naastgelegen parkeerterrein en uit de woonwijken in de omgeving.

De verschillen in het zwevende stofgehalte zijn niet eenduidig. Plaatselijke omstandigheden spelen vaak een grote rol.

Het waargenomen maximum in de BZV-concentratie ligt hoger dan in de twee woonwijken; de gemiddelden ontlopen elkaar niet zoveel. Voor het CZV ligt het gemiddelde wel hoger. Dit duidt op een slechtere afbreekbaarheid van de verontreiniging in de wegafvoer.

In de stikstof- en fosfaatconcentraties zijn geen opvallende verschillen te constateren, behoudens wellicht het hoge N-Kjeldahl maximum. Het betreft een uitschieter in de waarnemingen. Een verklaring ervoor ontbreekt.

Voor wat betreft de zware metalen zijn vooral de gehalten aan zink, lood en koper hoog in vergelijking met elders gevonden waarden.

De lood- en zinkverontreiniging van de Houtribdreef zijn duidelijk gerelateerd aan het verkeer. Lood komt vooral uit benzine. In Canada wordt voor het overgrote deel loodvrije benzine gebruikt, waardoor de gemiddelde loodconcentratie daar relatief laag is.

Vóór 1978 werd in de Verenigde Staten nog op grote schaal gelode benzine gebruikt, vandaar dat Mattraw nog een gemiddelde van 282 µg/l lood vindt. Zink is vooral afkomstig van de sleet van autobanden. Voor het hoge gemiddelde uit Canada ontbreekt een duidelijke verklaring. Wellicht

is het een gevolg van corrosie, bijvoorbeeld van verzinkt wegmeubilair. Het verhoogde kopergehalte kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan slijtage van banden en remvoeringen. Gegeven het feit dat zich ca. 50 m na het meetgebied een inrit bevindt naar een druk parkeerterrein bij een winkelcentrum is het niet verwonderlijk dat sporen van remvoering in het meetgebied worden aangetroffen.

De gehalten van chroom, cadmium en nikkel zijn niet duidelijk hoger dan de elders gemeten waarden.

Opgemerkt zij dat de neerslag een belangrijke bron van verontreiniging door zware metalen kan vormen. In het kader van dit artikel blijft deze bron evenwel buiten beschouwing. Het gehalte aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen – althans de 6 van Borneff – ligt hoger dan de in een bergingsvijver gemeten waarden. Waarschijnlijk moet dit worden toegeschreven aan bezinking van deze stoffen in de vijver. In beide gevallen was fluorantheen het sterkst vertegenwoordigd. In de bergingsvijver was dit 'verreweg de grootste bijdrage' [Feenstra, v. d. Most, 1985]; bij de Houtribdreef was dit niet zo sterk het geval. De gemiddelde gehalten vertoonden een afnemende bijdrage volgens de reeks:

1. fluorantheen (Flu)
2. benzo (b) fluorantheen (BbF)
3. indeno (1, 2, 3, c, d,) pyreen (IP)
4. benzo (ghi) peryleen (BgHiP)
5. benzo (a) pyreen (BaP)
6. benzo (k) fluorantheen (BkF).

Overeenkomstig de ervaringen van Marsalek

[1986] wordt α-HCH, γ-HCH en α-Endosulfan regelmatig in de monsters teruggevonden. Minerale olie tenslotte wordt in hoge concentraties gevonden in de afvoer van de hoofdweg. De gladheidsbestrijding blijkt incidenteel van grote invloed op de kwaliteit van de afvoer. Dat de hoge gehalten van metalen en olie samenhangen met een verhoogd chloridegehalte is niet ondenkbaar. Deze samenhang kon echter niet worden aangetoond.

De IMP-normen voor de basis-kwaliteit worden door vele waterkwaliteitsvariabelen overschreden.

Naast de gewogen gemiddelde concentratie is in tabel I ook de mediane concentratie per kwaliteitsvariabele opgegeven. Dit is gedaan omdat het gemiddelde sterk beïnvloed kan worden door één extreme waarde in het waarnemingsmateriaal. Voor de berekening van vrachten kan in een dergelijke situatie beter uitgegaan worden van de mediaan. Daarom zal hier verder alleen gewerkt worden met vrachten die zijn afgeleid uit de mediaan.

Uitgaande van een afvoer van 515 mm per jaar als gevolg van een gemiddelde neerslaghoeveelheid van 747 mm per jaar is berekend hoeveel gram of kilogram er per jaar per strekkende kilometer weg aan verontreiniging afstroomt. Zie tabel I.

Vaak gaat het om verrassend grote hoeveelheden: 408 kg gesuspendeerde stof, 16 kg minerale olie, 1,5 kg lood en 1 kg zink per kilometer per jaar. Deze vrachten zijn eenvoudig om te rekenen naar vrachten in kg per ha per jaar, namelijk door vermenigvuldiging met de factor 1,25. Voor wegen

is een dergelijke maat evenwel slecht hanteerbaar.

In de literatuur zijn slechts in beperkte mate waarden te vinden die met deze vuilvrachten vergeleken kunnen worden. Ellis [1986] geeft vrachten in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. In tabel III zijn deze omgerekend naar $\text{kg} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ en vergeleken met de waarden voor de hoofdweg in Lelystad.

TABEL III – Vuilvrachten die afspoelen van een wegdek ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$).

Variabele	Houtribdreef	Ellis (1986)
Zwevende stof (< 3,35 mm)	408	97-5.031
Org. zeev. stof	137	36-680
BZV ₅ ²⁰	21	72-138
CZV	321	145-3.092
N-NH ₄	5,4	0,54-4,88
Pb	1,5	0,52-10,4

De door Ellis berekende vrachten zijn afkomstig van een drukke autoweg. De waarden voor de Houtribdreef passen uitstekend in het Engelse beeld. Alleen de ammoniumvracht wijkt af. Oorzaak hiervan is waarschijnlijk de straatkolk die bij het Lelystadse onderzoek tussen het meetgebied en de verzameltank zit. Het water en vooral ook het sediment in deze straatkolk zullen in langere droogweertperiodes en bij hogere temperaturen anaëroob worden, waardoor ammoniumvorming zal optreden. De hoge gehalten treden dan ook alleen op in de monsters die in de zomer zijn genomen. In de Engelse situatie is het van de weg afstromende water direct bemonsterd. De straatkolk leidt dus niet tot een duidelijke verlaging van de vuilvracht, ook niet voor de zwevende stof, hoewel het grove materiaal natuurlijk wel in de kolk zal achterblijven. De kans op verstoppingen in het stelsel wordt daarmee gereduceerd, mits de straatkolk regelmatig leeggemaakt wordt. Uitgaande van de verkeersintensiteit kan ook worden berekend hoe groot de afstromende vuilvracht is per voertuig per kilometer. In tabel I is het overzicht van deze waarden te vinden. Ook door Shaheen worden deze waarden gegeven, afkomstig uit metingen van de vuilophoping op hoofdwegen nabij Washington met een verkeersintensiteit van 20.000-55.000 voertuigen per dag. In tabel IV zijn deze waarden gezet naast de waarden van de Houtribdreef. De verschillen tussen de beide kolommen zijn groot, wellicht als gevolg van de toegepaste benadering. Ook het verschil in de verkeersintensiteit speelt hierbij een rol. Wordt uitgegaan van de veronderstelling dat zich op het wegoppervlak maar een beperkte hoeveelheid vuil kan afzetten en dat de rest verwaait [o.a. James en Boregowda, 1986; Huber a.o. 1975; Sabor en Boyd, 1972] onder andere als gevolg van de door de voertuigen veroorzaakte turbulentie,

TABEL IV – Schatting van de door een twee-assig voertuig per afgelegde kilometer geproduceerde verontreiniging op basis van de vuilophoping [Shaheen, 1975 in Nelissen, 1982] en op basis van de met de neerslag afgevoerde hoeveelheid verontreiniging ($\text{mg} \cdot \text{km}^{-1}$ per voertuig).

Variabele	Washington Shaheen [1975]	Houtribdreef
Zwevende stof (< 3,35 mm)	1.342	350
Org. zeev. stof (< 3,35 mm)	68	116
BZV ₅ ²⁰	3,1	17,7
CZV	72	277
vet + minerale olie	8,6	14
P-totaal	0,8	0,92
N-NO ₃	0,1	3,2
N-Kjeldahl	0,2	9,7
Pb	15,8	1,2
Cr	0,1	0,04
Cu	0,2	0,17
Ni	0,3	0,004
Zn	2,0	0,88
Cd	0,002	0,006

dan zal de vuillast per voertuig afnemen naarmate de verkeersintensiteit toeneemt. Deze veronderstelling wordt ondersteund door de tabellen III en IV: De veel drukker Engelse autoweg geeft globaal dezelfde vuilvracht per km als de Houtribdreef, terwijl de vracht per voertuig in Lelystad vaak groter is dan in Washington. De vuilvracht per ha of per km geeft dus een stabielere indicatie van de hoeveelheid verontreiniging die via de afstromende neerslag wordt afgevoerd dan de (schijnbare) produktie per voertuig. De rest van de geproduceerde verontreinigingen verdwijnt waarschijnlijk in de berm, ten dele via het stuifwater en ten dele als stof door de wind. Dat de door het verkeer geproduceerde hoeveelheid verontreiniging sterk afwijkt van de hoeveelheid die in de regenwaterafvoer wordt aangetroffen blijkt wel uit het feit dat ca. 22 mg lood $\cdot \text{km}^{-1}$ per voertuig vrijkomt via de uitlaatgassen [afgeleid uit Feenstra, Van der Most, 1985] terwijl slechts 1,21 mg lood $\cdot \text{km}^{-1}$ per voertuig wordt teruggevonden in de neerslagafvoer. De schatting dat slechts 10-30% van het uitgestoten lood op het wegdek neerslaat [Shaheen, 1975; Christensen, 1979 in Nelissen, 1982] lijkt dus in dit geval aan de hoge kant.

Samenvatting en conclusies

Om de kwaliteit van de neerslagafvoer van een hoofdweg te onderzoeken is in Lelystad een wegdek van 22x8 m ingericht als meetgebied. De verkeersintensiteit ter plaatse is gemiddeld circa 3.200 voertuigen per dag. Het water dat naar één van de straatkolken stroomt wordt opgevangen in een tank. Per bui is daaruit een monster genomen. In totaal is het afgevoerde water van 11 buien onderzocht op 71 waterkwaliteitsvariabelen. De belangrijkste verontreinigingen waren zwevende stof, moeilijk oxydeerbare ver-

bindingen, minerale olie, zware metalen en PAK's. Daarnaast komen andere milieu-onvriendelijke stoffen incidenteel voor in niet onaanzienlijke hoeveelheden. De vuilvracht per voertuigkilometer blijkt hoger te zijn dan literatuurwaarden voor andere, drukker bereiden wegen. De vracht per hectare ligt wel in dezelfde orde van grootte. Waarschijnlijk verwaait meer vuil naarmate de verkeersintensiteit hoger is en is de hoeveelheid vuil die op een straatoppervlak kan accumuleren beperkt van omvang. Gezien de kwaliteit van het afstromende regenwater is het niet wenselijk om de afvoer direct op het oppervlaktewater te lozen. Wanneer geen mogelijkheden bestaan om de afvoer via de riolering naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie te leiden, dan heeft het voorkeur om het afgevoerde water in de bermen te laten infiltreren. Die worden immers toch al belast met grote hoeveelheden verontreinigingen afkomstig van de weg via het stuifwater en opgewaaid stof. De extra toevoer van verontreinigingen door het afstromende regenwater zal niet of nauwelijks tot additionele negatieve gevolgen leiden. De grond in de berm zal voor veel verontreinigingen functioneren als een filter, zodat de kwaliteit van het grondwater niet of nauwelijks wordt aangetast. Metingen van de waterkwaliteit van de afvoer van een cunetdrain bevestigen dit.

Literatuur

- Ellis, J. B. (1986). *Pollutional aspects of urban runoff*. In: Desbordes, Marsalek, Torno, ed. Urban Runoff Pollution. Nato-workshop, Montpellier, Springer-Verlag.
- Feenstra, J. F. en Most, P. F. J. van der (1985). *Diffuse bronnen van waterverontreiniging*. E-85/15. Inst. voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Huber, W. C. and Heany, J. P. a.o. (1975). *Storm Water Management Model User's Manual, Version II*. EPA-670/2-75-017 (NTIS PB-257809). Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- James, W. and Boregowda, S. (1986). *Continuous mass-balance of pollutant build-up processes*. In: Desbordes, Marsalek, Torno, ed. Urban Runoff Pollution, Nato-workshop, Montpellier, Springer-Verlag.
- Marsalek, J. (1986). *Toxic contaminants in urban runoff: a case study*. In: Desbordes, Marsalek, Torno, ed. Urban Runoff Pollution. Nato-workshop, Montpellier, Springer-Verlag.
- Nelissen, C. (1982). *De verontreiniging van de neerslagafvoer in stedelijke gebieden*. RIJP-rapport 1982-17 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- NWRW (1986). *De vuilemissie van af te koppelen verharde gebieden*, fase 1 literatuuroverzicht en inventarisatie van ervaringen.
- Sartor, J. D. and Boyd, G. B. (1972). *Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants*. EPA-R2-72-081 (NTIS PB-214408). Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Uunk, E. J. B. (1984). *De vuiluitvoer van regenwaterriolen en hun invloed op het oppervlaktewater; de eerste resultaten van een onderzoek in Lelystad*. H₂O (17) nr. 3.
- Ven, F. H. M. van de (in voorbereiding). *Van neerslag tot rioolloop*. Van Zee tot Land. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Voortman, B. R. (1977). *De ontwatering van enkele wegen in Lelystad*. Flevobierich 123. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.

LITERATUURONDERZOEK NAAR DE SAMEN-
STELLING VAN DE RUNOFF VAN WEGEN
EN VOORSPELLENDE BEREKENINGEN T.A.V.
DE BERMBODEM- EN GRONDWATERKWALITEIT
VOOR EEN PERIODE VAN 100 JAAR.

WERKNUMMER 232

Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Hoofdafdeling Milieu, Onderafdeling Advies bodem-
en luchtverontreiniging
Delft

Uitvoering:
Raadgevend Bureau drs. A. Tukkers
Woerden

INHOUD

	SAMENVATTING	pag.	i
	SUMMARY		ii
1.	INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK		1
1.1	Inleiding		1
1.2	Doel van het onderzoek		3
1.3	Literatuurrecherche		3
2.	WEGEN- EN VERKEERSKARAKTERISTIEKEN DIE VAN INVLOED ZIJN OP DE STOFFENBALANS VAN EEN WEG		4
2.1	Inleiding		4
2.2	Invloed van wegenkarakteristieken		4
2.2.1	Wegverharding		4
2.2.2	Weginrichting		8
2.2.3	Wegbeheer		11
2.3	Verkeerskarakteristieken		16
2.3.1	Inleiding		16
2.3.2	Invloed van de verkeerssamenstelling op de runoff		16
2.3.3	Invloed van de verkeersintensiteit op de runoff		16
2.3.4	Invloed van de verkeerssnelheid op de runoff		18
2.3.5	Invloed van de brandstofkwaliteit op de runoff		19
2.3.6	Invloed van banden, remmen en lekverliezen op de runoff		22
3.	VERWIJDERING VAN STRAATVUIL ONDER INVLOED VAN AFSTROMENDE NEERSLAG EN SEIZOENSINVLOEDEN		23
3.1	Inleiding		23
3.2	Verwijdering van straatvuil onder invloed van afstromende neerslag		25
3.3	Bijdrage van regenwater aan de runoff		27
3.4	Spatverliezen		27
3.5	Seizoensinvloeden		28
3.6	Evaluatie		28
4.	RUNOFF-SAMENSTELLING		30
4.1	Inleiding		30
4.2	Runoff-concentraties		30
4.3	Verhouding opgeloste hoeveelheid verontreinigende stoffen versus de totale hoeveelheid verontreini- gende stoffen in de runoff		33
4.4	Evaluatie runoff-concentraties en maximale aanvoer per auto aan afspoelbare hoeveelheden van een stof		33
4.5	Vergelijkende berekeningen		34
4.5.1	Gemiddelde situatie in Nederland		34
4.5.2	Lagere loodemissie in Duitsland		35
4.5.3	Situatie bij de proef in Lelystad		36
4.5.4	Evaluatie		36
5.	DE STOFFENBALANS		38
5.1	Inleiding		38
5.2	Bespreking van de stoffenbalans		38
5.3	Evaluatie		42

6.	VERGELIJKING VAN WATERKWALITEITSNORMEN MET DE RUNOFFWATERKWALITEIT	pag. 44
6.1	Vergelijking runoffwaterkwaliteit met water- kwaliteitsnormen	44
6.2	Evaluatie	44
7.	VOORSPELLENDE BEREKENINGEN TOEKOMSTIGE BODEM- EN GRONDWATERKWALITEIT	46
7.1	Inleiding	46
7.2	Aannames	47
7.3	Berekeningen	48
7.4	Bespreking van de voorspellende berekeningen	49
7.5	Evaluatie voorspellende berekeningen	51
7.5.1	Algemeen	51
7.5.2	Bodem	51
7.5.3	Grondwater	53
7.5.4	Bezinksloot	53
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	54
8.1	Conclusies	54
8.2	Aanbevelingen voor nader onderzoek	58
8.2.1	Algemeen onderzoek	58
8.2.2	Aanpak bij de bron: Onderzoek naar emissie- beperkende maatregelen	58
8.2.3	Onderzoek naar saneringsmaatregelen om bodem- en waterverontreiniging te voorkomen	59
	LITERATUURLIJST	60
	DOORGENOMEN MINDER RELEVANTE LITERATUUR	63

BIJLAGEN

Bijlage I :	Tabel I.1 : Concentraties van de runoff
	Tabel I.2 : Afspoelhoeveelheden van de runoff in kg/ha,jaar
Bijlage II :	Samenvattingen van de literatuur waaruit tabel I.1 (concentraties in de runoff) is samengesteld
Bijlage III :	Stroomschema van de computerberekeningen
Bijlage IV :	A-, B- en C-waarden voor bodem en grondwater
Bijlage V :	Berekende concentraties voor een humeuze zandgrond (0-20 cm) op een humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaatconcentraties. (De berekeningen zijn uitgevoerd voor vijf opeenvolgende bodemlagen van elk 20 cm)

TABELLEN

Tabel 2.1	Chemische samenstelling van asfalt- en betonverharding	pag. 4
Tabel 2.2	Emissies aan zware metalen ten gevolge van slijtage van een asfaltwegdek en een betonnen wegdek op basis van Nederlandse gegevens	5
Tabel 2.3	Verdeling van straatvuil over de wegbreedte	8
Tabel 2.4	Reinigingsefficiëntie van het vegen van een wegdek als functie van de deeltjesgrootte van het straatvuil (naar Sartor en Boyd, '72)	12
Tabel 2.5	Jaarlijkse belasting van een weg met zware metalen uit strooizout (in g/ha wegdek, jaar)	14
Tabel 2.7	Brandstofverbruik personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's en bijbehorende emissies aan lood, koolwaterstoffen en stof in 1983	19
Tabel 2.8	Gehaltes aan verontreinigende stoffen in benzine, diesel en andere verkeersgebonden toepassingen (uit Amerikaanse literatuur, 1975)	20
Tabel 2.9	Emissies aan zware metalen, koolwaterstoffen en stof buiten de bebouwde kom (in ton/jaar en in kg/ha wegdek, jaar)	21
Tabel 2.10	Geschatte stoffenbijdrage afkomstig van slijtage van remmen en banden en t.g.v. lekverliezen buiten de bebouwde kom (in kg/jaar en in kg/ha wegdek, jaar)	22
Tabel 3.3	De procentuele bijdrage van neerslag aan de stoffenbelasting van de runoff	29
Tabel 4.1	Vergelijking van Nederlandse, Duitse en buitenlandse runoff vracht in kg/ha wegdek, jaar (zie bijlage I.2) (Voor een onderlinge vergelijkbaarheid berekend met een maximale runoff-coëfficiënt van 1)	31
Tabel 4.2	Percentage aan vaste deeltjes gebonden aan zware metalen in de runoff	33
Tabel 5.1	Samenvattend overzicht van de bijdragen van de verschillende stoffen aan- en afvoersystemen buiten de bebouwde kom in kg/ha wegdek, jaar	39
Tabel 5.2	Indicatieve gevoeligheidstabel. Bijdrage van de stoffenaanvoersystemen aan de runoff in procenten (concentratie van de stof in de runoff = 100).	40

Tabel 6.1	Tabel runoff-waterkwaliteit, basiskwaliteit IMP-water en A-, B- en C-waarden voor grondwater uit de Leidraad Bodemsanering	pag. 44
Tabel 7.1	Achtergrondconcentraties, evenwichtsverdelingscoëfficiënten en enkele veldfysische parameters voor een humusarme zandgrond en een zavelgrond (naar Tukkers, '85)	48
Tabel 7.2	Aantal jaren waarna volgens de voorspellende berekeningen de A- of B-waarde wordt bereikt voor een bovengrond (0-20 cm) van humeus zand of zavel, voor het hieruit tredende percolaat en voor het percolaat op 100 cm diepte (=grondwater). (Volgens bijlagen V.1 t/m V.12). Uitgaande van achtergrondconcentraties uit tabel 7.1	50

FIGUREN

Figuur 1.1	Schematische weergave van de stoffenbalans van een weg	1
Figuur 2.1	Invloed van de hoogte van een stoeprand langs de weg op de aanwezige hoeveelheid straatvuil	9
Figuur 2.2	Reductie van de runoff-belasting door reiniging van het wegdek	13
Figuur 2.3	Scatterdiagram van de stoffen-concentraties en de verkeersintensiteit	17
Figuur 3.1	Schematische weergave van accumulatie/verwijdering van straatvuil op het wegoppervlak (naar Sartor en Gaboury)	23
Figuur 3.2	Deeltjestransport onder invloed van afstromende neerslag afhankelijk van deeltjesgrootte, type verhardingsmateriaal, toestand van het wegdek en de regenintensiteit (Nelissen 1982, naar Sartor en Boyd, 1972).	24
Figuur 3.3	De relatieve verwijdering van straatvuil door afstromende neerslag	25
Figuur 3.4	Hydrografie van de regenbui op 25 oktober 1980 (naar Hofman et al.)	26

SAMENVATTING

Een literatuuronderzoek is uitgevoerd naar de samenstelling van, en de verontreiniging door runoff van wegen. Vooral over zware metalen en minerale olie is informatie gevonden. De verschillende onderzoeken zijn, indien de resultaten worden berekend naar afspoelhoeveelheid in kg/ha wegdek,jaar, goed vergelijkbaar. De jaargemiddelde samenstelling van runoff is voor de verschillende onderzoeken in orde van grootte vergelijkbaar, de individuele monsters vertonen echter een sterke variatie.

De gehalten aan zware metalen en minerale olie in de runoff overschrijden de waarden van grondwaterkwaliteitsrichtlijnen. Voorstellende berekeningen met betrekking tot de verwachte bodem- en grondwaterkwaliteit bij infiltratie van runoff geven aan dat de A-waarde voor een humeuze zand- of zavel-bovengrond (20 cm) binnen enkele jaren en de B-waarde binnen 30 à 70 jaar zal worden overschreden voor cadmium, lood en zink.

Belangrijke bronnen voor verontreiniging van runoff zijn de uitlaatgassen (Pb, Cr, Ni en koolwaterstoffen), bandenslijtage (Zn, Ni en koolwaterstoffen), wegdekslijtage (Ni, Cr) en lekverliezen. Aanvoer van stoffen door de neerslag is voor zware metalen niet verwaarloosbaar.

De stoffenaanvoer is, omgerekend naar kg/ha wegdek,jaar, in een redelijk sluitende stoffenbalans vergeleken met de gemiddelde runoff-samenstelling.

Invloeden op de stoffenbalans, zoals verkeersintensiteit, wegaanleg, verwaaiing, spatverlies en vegen zijn ook onderzocht. Indien een bepaalde minimum verkeersintensiteit (3000 auto's/dag) wordt overschreden, is de runoff-samenstelling, uitgedrukt in kg/ha wegdek,jaar vrijwel constant.

SUMMARY

This report is a result of a literature survey on pollutant composition and loading of motorway runoff. In particular, information on heavy metals and the oil fraction is available.

The results of studies, performed in the USA and the FR. Germany, are comparable, when kg/ha year is taken as a standard unit. Units, including the number of vehicles are considered less usefull.

Seperate samples show large variations in concentration, the yearly average however is found to be fairly constant. The suspended solids in the runoff contain the largest fraction of pollutant, depending on the chemical substance. Surfacewater and soil quality standards may be exceded for oils and heavy metal concentrations, at the sides of the road, resulting from runoff.

A forecast, based on model calculations, using a humipherous soil, consisting of sand and sandy clay, shows an exceding of the A-level for Cd, Pb and Zn within a few years and the B-level within 30 to 70 years. (Dutch soil-sanitation guidelines).

The most important source of runoff pollution is exhaust fumes (Pb, Cr, Ni, and hydrocarbons) notwithstanding a 90-95 % loss through airborne dispersal. Also abrasion of tyres (Zn, Ni and hydrocarbons), road surface wear (Ni, Cr) and oil losses contribute to the runoff pollution. Input by atmospheric precipitation cannot be neglected, however the heavy metals contribution by road salts is limited.

A comparison of runoff with the annual input from the motorway is presented in a mass balance, wich fitts rather well as the orders of magnitude are comparable. Effects of influence on this balance, such as; traffic intensity, road construction, airborne disposal, spray and road sweeping have been looked at. The runoff composition expressed in kg/ha road surface per year is constant when a certain amount of traffic (less than 3200 vehicles per day) is exceded. The capacity of a road to store dust is related to surface type and construction. It may be an important factor determining the constant runoff composition.

1. INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

1.1 Inleiding

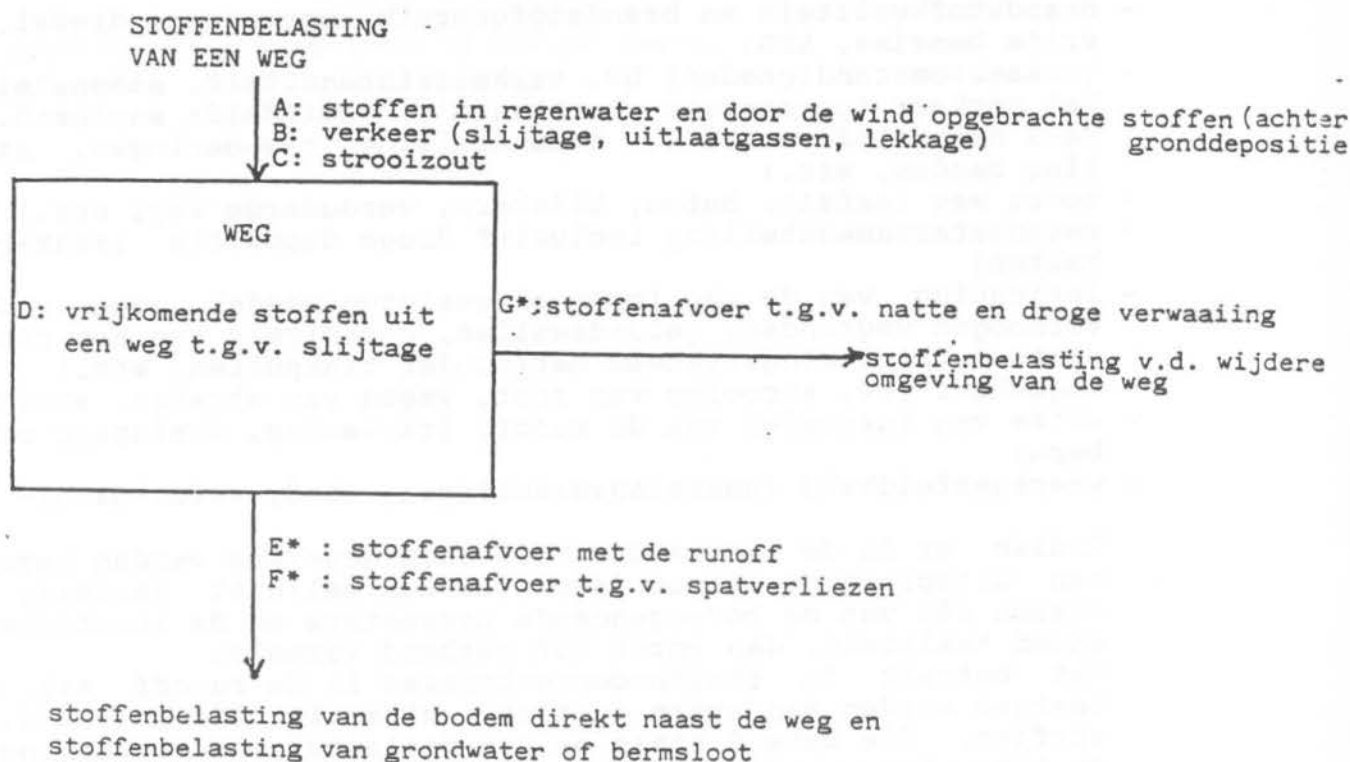
Bij wegen, voorzien van een riolering, wordt het afgestroomde wegwater (run-off) in veel gevallen rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd. Aan de kwaliteit van het te lozen water kunnen, in het kader van de WVO eisen worden gesteld door de instanties belast met het kwaliteitsbeheer van oppervlaktewater.

Indien er geen rioleringssysteem naast een weg is aangebracht, dan zal het runoff-water met de daarin aanwezige stoffen de wegberm belasten. Aan deze bodembelasting worden mogelijk in de toekomst ook eisen gesteld door instanties belast met het kwaliteitsbeheer van bodem en grondwater.

Over de in de runoff voorkomende verontreiniging zijn in Nederland slechts summiere gegevens bekend, op grond waarvan geen toetsing aan gestelde normen kan plaatsvinden. In het buitenland zijn echter meerdere onderzoeken naar de kwaliteit van de run-off uitgevoerd, zodat het zinvol is deze literatuur te onderzoeken op, voor de Nederlandse situatie, bruikbare gegevens.

In figuur 1.1 wordt schematisch weergegeven welke deelsystemen bijdragen aan de stoffenbalans van een weg.

Figuur 1.1: Schematische weergave van de stoffenbalans van een weg



- * De stoffenafvoersystemen E, F en G (respectievelijk runoff, spatverliezen en verwaaiing) dragen ieder voor een deel bij aan de afvoer van stoffen afkomstig van regenwater, wind, verkeer, strooizout en slijtage van de weg.

Stoffenafvoer door het regelmatig vegen van de weg is in dit schema niet opgenomen, omdat dit in Nederland vrijwel uitsluitend binnen de bebouwde kom van toepassing is. De processen die stof leveren, die van de weg af kunnen spoelen en/of waaien, zijn:

- A: neerslag en wind
- B: verkeer
- C: strooizout
- D: slijtage van het wegdek.

Transportsystemen voor de afvoer van stoffen zijn regenwater lucht:

- E: afstromend regenwater (runoff)
- F: spatwater
- G: de lucht (droge en natte verwaaiing).

In dit rapport zal indien mogelijk worden aangegeven welk percentage de afzonderlijke aan- en afvoersystemen bijdragen aan het totaal en welke stoffen dit betreffen.

Met name voor deze studie van belang is de kwaliteit van het runoff-water (transportsysteem E).

Parameters, die van invloed zijn op de kwaliteit en ook de kwantiteit van het runoff-water, zijn:

- brandstofkwaliteit en brandstofgebruik (percentage diesel, loodvrije benzine, LPG) *ook hoe veel er wordt geveend en opgetrokken*
- verkeersomstandigheden; bv. verkeersintensiteit, samenstelling van het verkeer (percentage vrachtauto's, gemiddelde snelheid, gemiddeld brandstof-verbruik, samenstelling remvoeringen, samenstelling banden, etc.)
- soort weg (asfalt, beton, klinkers, verouderde weg, etc.)
- regenwatersamenstelling inclusief droge depositie (achtergrondhaltes)
- inrichting van de weg (open of gesloten wegdek, open middenberm, verhoogde wegranden, geluidswallen, capaciteit van het rioleringsysteem, rioleringsysteem met/zonder zinkputten, etc.)
- wegbeheer (bv. strooien van zout, vegen van straten, etc.)
- wijze van inzamelen van de runoff (riolering, drainpijp onder wegb berm)
- weersgesteldheid (neerslagverdelingen, wind, verdamping)

Indien er in de literatuur voldoende gegevens werden gevonden een uitspraak te kunnen doen over een wel/niet aanwezig verband tussen één van de bovengenoemde parameters en de runoff-kwantiteit en/of kwaliteit, dan wordt dit verband vermeld.

Wat betreft de stoffenconcentraties in de runoff zal aandacht besteed worden aan zware metalen, minerale olie en PAK's. Andere stoffen, die bekend staan om hun milieubelastende werking, die in de literatuur worden vermeld, zijn: asbest, benzeen, fenol, cyanide. Chloride, afkomstig uit strooizout wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Ook zullen piekconcentraties- en zo mogelijk de fracties die gebonden zijn aan zwevende deeltjes in het runoff-water worden aangegeven.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van het literatuuronderzoek is:

- Het inzicht krijgen in de mate van verontreiniging van de runoff van verschillende wegen.
De nadruk zal liggen op de situatie zoals deze zich bij auto-snelwegen voordoet (wegen buiten de bebouwde kom).
- Aangeven in hoeverre de literatuur onderling vergelijkbaar is.
- Vergelijken van de runoff-waterkwaliteit met waterkwaliteitsnormen.
- Het aangeven van de te verwachten invloed van de runoff-watersamenstelling op de kwaliteit van bodem en grondwater bij infiltratie in de bodem met behulp van een ontwikkeld computersimulatie-model.
- Aangeven of er een methodiek mogelijk is om de te verwachten verontreiniging van de runoff in een specifieke (Nederlandse) situatie te voorspellen.
- Het aangeven van emissie-beperkende maatregelen en de hiervan te verwachten invloed op de kwaliteit van de runoff.
- Het doen van aanbevelingen met betrekking tot:
 - * maatregelen ter verbetering van de runoff-waterkwaliteit.
 - * beleidsaanbevelingen (na toetsing van de resultaten aan de W.B.B., de I.B.S. en W.V.O.).
 - * het verrichten van nader onderzoek (aangeven van de leemtes in kennis en uitbreiding van bestaand onderzoek).

1.3 Literatuur recherche

Door de onderafdeling advies bodem- en luchtverontreiniging (MIAB) van Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde te Delft is een literatuurrecherche uitgevoerd naar de runoff-waterkwaliteit (o.a. is het computerbestand "IRRD" doorzocht).

Door deze afdeling is op basis van de verzamelde gegevens in september 1985 een interne notitie uitgebracht, getiteld: "Verontreiniging in van het wegdek afgestroomde regenwater".

Deze notitie en de verzamelde literatuur dienden als basis voor het verdere literatuuronderzoek.

Door Raadgevend Bureau Tukkers zijn met behulp van trefwoorden een aantal computerliteratuurbestanden doorzocht, namelijk:

- Compendex
- Chemabs
- Enviroline
- ULIT (UMPLIS)
- Pollution
- NTIS

Met deze gegevens en literatuurverwijzingen uit reeds in het bezit zijnde literatuur is de literatuur opgezocht in de bibliotheek van het Ministerie van VROM, de TH Delft en de LH Wageningen.

2. WEGEN- EN VERKEERSKARAKTERISTIEKEN DIE VAN INVLOED ZIJN OP DE STOFFENBALANS VAN EEN WEG

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt, indien uit de literatuur bekend, aangeven in welke mate de verschillende wegen- of verkeerskarakteristieken van invloed zijn op de samenstelling van de runoff.

De beschouwde karakteristieken zijn:

- * wegenkarakteristieken:
 - wegverharding (hfdst.2.2.1)
 - inrichting v.d.weg (hfdst.2.2.2)
 - wegbeheer (hfdst. 2.2.3)
 - reiniging van het wegdek (hfdst.2.2.
- * verkeerskarakteristieken:-
 - verkeerssamenstelling (hfdst.2.3.2)
 - verkeersintensiteit (hfdst.2.3.3)
 - verkeerssnelheid (hfdst.2.3.4)
 - type en kwaliteit van de brandstof (hfdst.2.3.5)

2.2 Invloed van wegenkarakteristieken

2.2.1 Wegverharding

De in de literatuur verrichte onderzoeken naar samenstelling van de runoff hebben allen betrekking op asfaltwegen of betonwegen en een gesloten wegdek.

Onderzoek aan open wegdek (bv. klinkerverharding) is niet gevonden in de literatuur.

In de Nederlandse en in de Amerikaanse literatuur werden enkele analyses aangetroffen van asfaltwegen en betonwegen (zie tabel 2.1).

	TAUW '85		SARTOR '72		EENHEID
	asfalt	beton	asfalt	beton	
Cd	1	1	-	-	mg/kg
Cr	327	285	357	93	„
Cu	16	27	51	99	„
Ni	157	155	1170	264	„
Pb	17	40	102	450	„
Zn	55	92	164	417	„
organische stoffen			64200	70700	„
vet en olie			21400	2700	„

Tabel 2.1: Chemische samenstelling van asfalt- en betonverharding

Met de gegevens uit tabel 2.1 worden berekeningen uitgevoerd naar de bijdrage aan stoffen in de runoff ten gevolge van slijtage van een wegdek. Voor de berekeningen zal worden uitgegaan van de Nederlandse analyses. De metalen koper, nikkel, lood en zink zijn, volgens de Amerikaanse literatuur, aanzienlijk hoger (een factor 2-7). Voor vet en olie worden de berekeningen wel uitgevoerd met de Amerikaanse analyses, omdat hiervan geen Nederlandse analyses bekend waren.

In tabel 2.2 worden de berekende emissies van zware metalen ten gevolge van slijtage van een asfalt-wegdek weergegeven in kg/ha wegdek, jaar.

kg
(----- wordt in dit rapport geschreven als kg/ha, jaar).
ha x jaar

	buiten bebouwde kom totale emissie t.g.v. wegdekslijtage van al- le geasfalteerde wegen in Nederland (kg/jaar)		buiten bebouwde kom slijtagehoeveelheden in kg/ha wegdek, jaar		
	asfalt (1)	asfalt (2)	asfalt (1)	asfalt (2)	beton (3)
Cd	18	10	0,0004	0,0002	0,0002
Cr	41	3470	0,0009	0,078	0,068
Cu	80	170	0,0018	0,004	0,006
Pb	520	180	0,012	0,004	0,0096
Ni	32	1665	0,0007	0,038	0,037
Zn	1287	580	0,029	0,013	0,022
* vet+olie				5,1	0,65

(1)(2)(3): In de tekst wordt aangegeven op welke wijze de berekeningen zijn uitgevoerd.

- * Berekeningen uitgevoerd, uitgaande van de Amerikaanse analyses uit tabel 2.1
- * Over de concentratie PAK's in bitumen zijn geen gegevens gevonden

Tabel 2.2: Emissies aan zware metalen ten gevolge van slijtage van een asfaltwegdek en een betonnen wegdek op basis van Nederlandse gegevens

- (1) De emissies buiten de bebouwde kom zijn als volgt berekend (naar Feenstra en Van der Most, '85):
Volgens informatie van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde bedraagt de slijtage van een asfaltwegdek in het rijspoor maximaal 0,1 mm per jaar. Als normale slijtage wordt 0,04 mm aangehouden. Uitgaande van een rijspoorbreedte van 50 cm en 4 rijsporen per g, bij een totale geasfalteerde weglengte van 65.200 km, komt dit neer op

een totaal aan slijpsel van 5200 m³ (norm) tot 13.000 m³ (maximaal) per jaar.

Asfalt bestaat globaal voor 86% uit zand en steen, voor 7% uit bitumen en 7% uit vulstof.

Bij de berekening is er vanuit gegaan, dat de zware metalen in het asfalt hun oorsprong vinden in de gebruikte vulstof. Er is vanuit gegaan, dat het asfalt voor 7,1% bestond uit de vulstof Wigraas K (vulstof met vliegafval afkomstig van vuilverbrandingsinstallaties met laag metaal-gehaltes hiervan worden gegeven door Feenstra en van der Most).

Bij de berekeningen is voorts aangenomen dat 15% van het slijpsel (totaal 5200 m³ slijpsel, s.g. 2,4 ton/m³) binnen en 85% buiten de bebouwde kom wordt "geproduceerd".

De weglengte buiten de bebouwde kom is globaal 65.200 x 0,85 = 55.400 km met een breedte van circa 8 m (overeenkomend met 4 rijsporen); dit betekent een oppervlakte van circa 44.300 ha (naar Feenstra en Van der Most, '85).

Omgeredeneerd wordt bijvoorbeeld de cadmiumemissie ten gevolge van slijtage van een asfaltwegdek dan globaal:

$$\frac{18,5}{44.300} = 0.0004 \text{ kg/ha,jaar}$$

- (2) De emissie is berekend, uitgaande van een gemiddelde analyse (zie tabel 2.1) van oud en nieuw asfalt (oud asfalt uit depot H.W. asfaltmolen Keilehaven te Rotterdam en nieuw asfalt uit asfaltmolen van Kessel, Asfaltcentrale te Arkel; TAUW, '85). "Normale" slijtage van 5200 x 0,85 = 4420 m³ slijpsel buiten de bebouwde kom komt overeen met 4420 x 2,4 = 10.608 ton. Voor bijvoorbeeld koper betekent dit een emissie van 16 x 0,001 x 10.608 = 170 kg/jr, ofwel 170:44.300 = 0,0038 kg/ha asfaltweg,jaar. Op deze wijze zijn de in tabel 2.2 gegeven gehalten berekend.

- (3) Voor betonnen wegen wordt een soortgelijke berekening gemaakt als onder (2). Aanname hierbij is eveneens dat de sleet in de rijsporen 0,5 mm/jaar is, en dat de rijsporen een kwart deel uitmaken van de totale weg. De berekeningen worden uitgevoerd aan de hand van analyses van betonpuin (uit fundering wegverbreding secundaire weg Schoonhove Loopt, TAUW, '85), zie tabel 2.1.

Het soortelijk gewicht van beton is hetzelfde als van asfalt (2,4 ton/m³), zodat de berekeningen analoog zijn als onder 2). De vrijkomende hoeveelheden zware metalen (in kg/ha,jaar) uit beton ten gevolge van slijtage van het wegdek worden weergegeven in tabel 2.2.

Bespreking van de berekeningen

Er worden geen duidelijke verschillen berekend tussen asfaltwegen en betonwegen; dit is in overeenstemming met literatuurgegevens.

Shaheen ('75) concludeert dat er geen duidelijke relatie vastgesteld kan worden tussen het type wegverhardingsmateriaal en de samenstelling van de runoff.

Ook Klein ('82) komt tot een dergelijke conclusie. Hij stelt vast dat geasfalteerd wegdek ten opzichte van een wegdek van cementbeton in het algemeen iets verhoogde concentraties geeft. Wat betreft de "suspended-solid-fractie" en het gehalte aan PAK viel echter geen significant onderscheid te maken.

Evaluatie wegverharding

De in tabel 2.1 weergegeven hoeveelheden aan zware metalen, die ten gevolge van slijtage van een asfaltweg of van een betonnen weg in het milieu geraken (in kg/ha wegdek,jr) zijn globale schattingen, waarbij de belangrijkste aannames zijn:

- slijtage in het rijspoor is 0,04 mm/jr. voor zowel betonnen weg als voor een asfaltweg
- het rijspooroppervlak bedraagt een kwart deel van de totale wegoppervlakte
- de analyses uit tabel 2.1 (TAUW '85) geven een beeld van een gemiddelde Nederlandse asfalt- of betonweg

Uitgaande van de juistheid van deze aannames, wordt geconcludeerd dat de berekende slijtage-hoeveelheden aan zware metalen in orde van grootte een redelijke weergave van de werkelijkheid zijn.

De bijdrage van een asfaltweg is in orde van grootte gelijk aan die van een betonweg met betrekking tot zware metalen.

Geconstateerde verhoogde concentraties in de runoff bij asfaltwegen ten opzichte van betonwegen kunnen echter naar onze mening (op basis van tabel 2.2) niet worden toegeschreven aan verschillen in chemische samenstelling van de verharding, maar moeten worden toegeschreven aan verschillen in ruwheid van het wegdek. Volgens Nelissen ('82) kan op asfalt gemiddeld tot 80% meer straatvuil aanwezig zijn dan op een betonweg (gebaseerd op gegevens van Sartor en Boyd) door verschillen in ruwheid van het wegoppervlak. Een ruwer oppervlak heeft een groter vuilbergend vermogen. Een ruw oppervlak wil niet zeggen dat de weg in een slechte conditie verkeerd; een zekere ruwheid van de weg wordt juist nagestreefd.

Op een wegdek in slechte conditie (scheuren e.d.) kan volgens Nelissen eveneens ruim tweemaal meer straatvuil aanwezig zijn dan op een wegdek in goede conditie.

Van invloed kunnen eventueel wel zijn verschillen in slijtagesnelheid van de wegen (zie ook hfdst. 3.2). Met betrekking tot het vuilbergend vermogen van een weg lijkt het interessant om open asfalt-beton mee te nemen in een vergelijkend onderzoek.

De berekende gehalten voor asfalt met 7% vulstof (onder (1)), waarbij alleen is gerekend met de bijdrage van de vulstof als zodanig, en niet met de metaalgehalten in het asfalt, geven volgens tabel 2.2 te lage waarden voor koper en nikkel.

Derhalve moeten de berekende emissiewaarden onder (2) en (3) in tabel 2.2 naar onze mening als de best betrouwbare geschatte waarden worden aangemerkt.

Indien de berekeningen zouden worden uitgevoerd uitgaande analyses van Amerikaanse wegen (zie tabel 2.1) dan zouden emissies ten gevolge van slijtage voor een aantal metalen factor 2-7 hoger zijn.

De procentuele bijdrage aan de runoff-samenstelling van zwavel, metalen en olie en vet ten gevolge van slijtage van het wegdek wordt besproken in hoofdstuk 4.

2.2.2 Weginrichting

Bij de inrichting van een weg buiten de bebouwde kom kunnen enkele maatregelen worden genomen die van invloed zijn op de hoeveelheid en samenstelling van de runoff, zoals:

- a) aanleg van een verhoogde wegrand; dit voorkomt voor een deel het wegwaaien van straatvuil en het wegspatten van runoff-water.
- b) de aanwezigheid van begroeide middenbermen en wegbermen; verschil in samenstelling tussen runoff-water dat wordt opgevangen in een drainage-systeem onder een wegberm, en runoff-water dat wordt opgevangen in een bermsloot na afstroming over en percolatie door een wegberm.
- c) aanleg van verschillende rioleringsystemen; met/zonder zinkputten e.d.
- d) de aanwezigheid van vluchtstroken.

Van de bovengenoemde mogelijke toepassingen bij de aanleg van wegen, zal zo mogelijk worden aangegeven in welke mate deze voorzieningen van invloed (kunnen) zijn op de runoff-samenstelling en hoeveelheid.

ad a) verhoogde wegrand

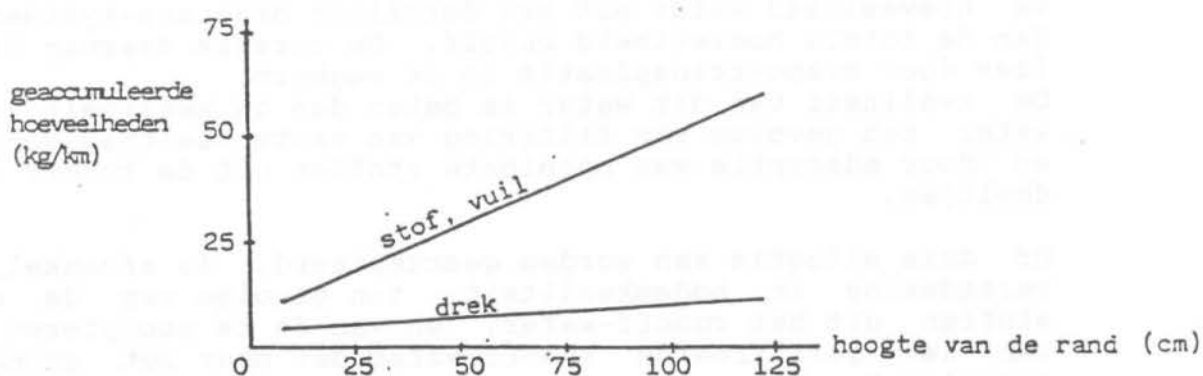
Het straatvuil is niet homogeen over het wegdek verspreid, maar blijkt zich hoofdzakelijk op een smalle baan langs de verhoogde wegrand te bevinden, zoals is gebleken uit enkele onderzoeken (zie tabel 2.3). Bij "verhoogde wegrand" wordt gedacht aan barrièreconstructies, geluidsschermen of trottoirbanden.

aantal meters v.d.trottoirband	percentage v.d. totale vuilvracht
Sartor & Boyd, '72: 0,15 m	78 %
0,30 m	88 %
1,10 m	97 %
2,40 m	98 %
M. Grottker, '86 : 0,5 m	95,8 %
2,2 m	98,4 %

Tabel 2.3: Verdeling van straatvuil over de wegbreedte

Uit het onderzoek van Grottker bleek bovendien dat, procentueel gezien, de grotere stofdeeltjes zich in verhoogde mate binnen de eerste 0,5 m bevinden.

Volgens Shaheen ('75) heeft de hoogte van de stoeprand invloed op de hoeveelheid vuil in de goten (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1: Invloed van de hoogte van een stoeprand langs de weg op de aanwezige hoeveelheid straatvuil

Uit bovengenoemde metingen blijkt dat straatvuil zich voornamelijk ophoopt binnen de eerste 0,5 m vanaf de rand van de weg bij aanwezigheid van een stoeprand.

Opgemerkt wordt hierbij dat gerioleerde Rijkswegen een opstaande rand van maximaal 5 à 7 cm kunnen hebben.

Volgens figuur 2.1 wordt hierdoor een beperkt deel (globaal 10 kg/km) van het totale straatvuil (maximaal globaal 60 kg/km bij een wegrand van 125 cm) tegen gehouden. Blijkbaar verwaait dat deel van de verontreiniging op de weg dat zou kunnen worden opgevangen bij aanwezigheid van een zeer hoge wegrand. Volgens de zeer globale benadering die hier wordt uitgevoerd, zal aldus op een gerioleerde Rijksweg circa:

$$(60-10) \text{ kg/km}$$

$$\text{-----} \times 100 \% = 83 \% \text{ verwaaien.}$$

$$60 \text{ kg/km}$$

Bij wegdelen met sterk verhoogde "wegranden" als geluidsschermen of betonnen wand-constructies in plaats van geleiderails zal de verwaaiing (aanzienlijk) minder kunnen zijn.

ad b) de aanwezigheid van begroeide middenbermen en wegbermen

Uit de literatuur blijkt dat vaak slechts delen van een zodanig van een riolering zijn voorzien, dat al het runoff-water wordt opgevangen (bijvoorbeeld in sommige waterwingebieden). Bij berekeningen van de totale hoeveelheid runoff van een weg moet hiervoor dus gecorrigeerd worden. Bij omrekeningen naar runoff-coëfficiënt = 1, worden de berekeningen dus uitgevoerd alsof alle runoff wordt opgevangen.

Bij aanleg van wegen wordt in plaats van een rioleringssysteem wel gekozen voor een drainage-systeem onder de wegberm. Dit drainage-systeem is dan aangesloten op een rioleringssysteem, of dit water wordt geloosd op oppervlaktewater (bijvoorbeeld wegsloot of een bezinkingsvijver).

De hoeveelheid water uit een dergelijk drainage-systeem is minder dan de totale hoeveelheid runoff. De oorzaak daarvan is watervlies door evapo-transpiratie in de wegberm.

De kwaliteit van dit water is beter dan de kwaliteit van runoff-water ten gevolge van filtering van vaste deeltjes door de bodem en door adsorptie van opgeloste stoffen uit de runoff aan bodemdeeltjes.

Of deze situatie kan worden geaccepteerd, is afhankelijk van verandering in bodemkwaliteit ten gevolge van de opname van stoffen uit het runoff-water, en van de te accepteren kwaliteit van het gefiltreerde runoff-water dat naar het grondwater percoleert.

In hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op de bodem- en grondwaterkwaliteit.

ad c) Aanleg van een rioleringssysteem

Een rioleringssysteem kan zodanig worden aangebracht dat al het runoff-water van de weg wordt opgevangen (met uitzondering van spatwaterverliezen).

De capaciteit en de "inrichting" van het rioleringssysteem kan de kwaliteit van het water bepalen, dat wordt geloosd op het oppervlaktewater of naar een zuiveringsinstallatie wordt afgevoerd.

Bij de inrichting van het rioleringssysteem kunnen bezinkputten worden ingebouwd om hierin de zwevende deeltjes (met daaraan geassocieerd een groot deel van de verontreinigde stoffen) op te vangen.

Ook deze bezinkputten (in het rioolsysteem zelf) moeten goed gedimensioneerd zijn en regelmatig worden schoongemaakt om voorkomen dat een groot deel van het bezonken slib tijdens regenbuien weer opwoelt en uitspoelt.

In een Duits onderzoek wordt door Klein aanbevolen om het runoff-water te reinigen middels bezinkvijvers.

De oppervlakte van de bezinkvijver moet volgens Klein dan zijn:

$$\text{Opp. Bezinkvijver} = \frac{Q \cdot 3,6}{q_a} \text{ (m}^2\text{)}, \text{ met } Q = \text{watertoevoer (m}^3\text{/hr)}$$

$q_a = \text{stroomsnelheid water in de vijver (m/hr)}.$

Deze stroomsnelheid mag 9 m/hr (max. 10 m/hr) bedragen.

ad d) De aanwezigheid van vluchtstroken

Door de aanwezigheid van vluchtstroken komt, volgens Krauth ('79), een groter deel van de verkeersemmissie op het wegdek, hetgeen leidt tot een verhoging van de totale vuilafspoelhoeveelheden van de weg. Hierdoor komt bij een gerioleerde weg een kleiner deel van het vuil in de berm terecht.

In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over de bijdrage aan verontreinigingen in de runoff van een vluchtstrook, in vergelijking tot de rijweg.

Op een vluchtstrook worden wellicht minder stoffen gedeponeerd dan op de rijweg. De turbulentie en daardoor verwaaiing is op een vluchtstrook echter waarschijnlijk weer minder dan op de rijweg, waardoor de vluchtstrook in de meeste situaties wellicht vergelijkbaar is met de rijweg. In dit rapport wordt daarom geen onderscheid gemaakt tussen wegen met of zonder vluchtstrook; de vluchtstrook wordt gelijk gesteld met de rijweg.

In hoofdstuk 4 worden stofbijdragen in de runoff berekend. In deze berekeningen wordt de vluchtstrook beschouwd als rijweg.

2.2.3 Wegbeheer

Onder wegbeheer vallen een aantal maatregelen die van invloed kunnen zijn op de hoeveelheid en samenstelling van de runoff, namelijk:

- a) onderhoud van wegen
- b) onderhoud van de wegberm
- c) reinigen van wegen
- d) strooien van zout

In het kort zal de mogelijke invloed van deze maatregelen op de runoff worden besproken.

ad a) Onderhoud van wegen

Zoals al in paragraaf 2.2.1 'Wegverharding' is vermeld, kan bij ruwe wegen (met een groot vuilbergend vermogen) de runoff-vuil concentratie beduidend groter zijn dan bij gladde wegen, omdat bij ruwe wegen meer straatvuil achter kan blijven (evenals bij slecht onderhouden wegen met scheuren e.d.) (Nelissen, '82).

Omdat uit de literatuur niet bleek in welke staat van onderhoud het wegdeel verkeerde waaraan onderzoek werd verricht, en omdat er in de literatuur ook geen gegevens waren over de mate van "ruwheid" van een wegdek, wordt in dit literatuuronderzoek bij vergelijking van de runoff-samenstelling (hfdst. 4) er vanuit gegaan dat de wegen op deze onderdelen vergelijkbaar zijn.

ad b) Onderhoud van de wegberm

Door het maaien van de wegberm kan de weg in het desbetreffende seizoen (in Nederland 's zomers) extra worden belast met opwaaiend organisch materiaal en in de herfst met bladval.

Een andere vorm van onderhoud van de wegberm is het wegsteken van grasranden langs de wegkant. Dit gebeurt globaal om de 2 à 5 jaren.

In de literatuur is aan beide bovengenoemde onderhoudsmaatregelen geen aandacht besteed.
 Waarschijnlijk is de invloed van dit onderhoud verwaarloosbaar.

ad c) Reinigen van wegen

Een beheersmaatregel om de concentraties in de runoff van rijwegen te beperken, kan zijn het vegen van wegen, zoals dat stedelijke gebieden vaak gebruikelijk is. (Deze maatregel komt de praktijk van Rijkswaterstaat niet/nauwelijks voor). In de paragraaf wordt niet aangegeven welke veegmethode (bv. nat droog) de beste is, maar wel in welke mate het vegen van een van invloed is op stoffenconcentraties in de runoff.

Uit meerdere onderzoeken is gebleken dat de grotere deeltjes beter te verwijderen zijn dan de kleinere deeltjes. Als voorbeeld wordt het onderzoek van Sartor en Boyd ('72) genomen (zie tabel 2.4).

deeltjesgrootte (um)	reinigingsefficiëntie (%)
2000	79
840- 2000	66
246- 840	60
104- 246	48
43 - 104	20
43	15
Overall	50

Tabel 2.4: Reinigings efficiëntie van het vegen van een wegdek als functie van de deeltjesgrootte van het straatvuil (na Sartor en Boyd, '72)

Het totale verwijderingspercentage van 50 %, zoals hier opgegeven is erg hoog. Het hangt onder meer af van de ruwheid van het wegdek.

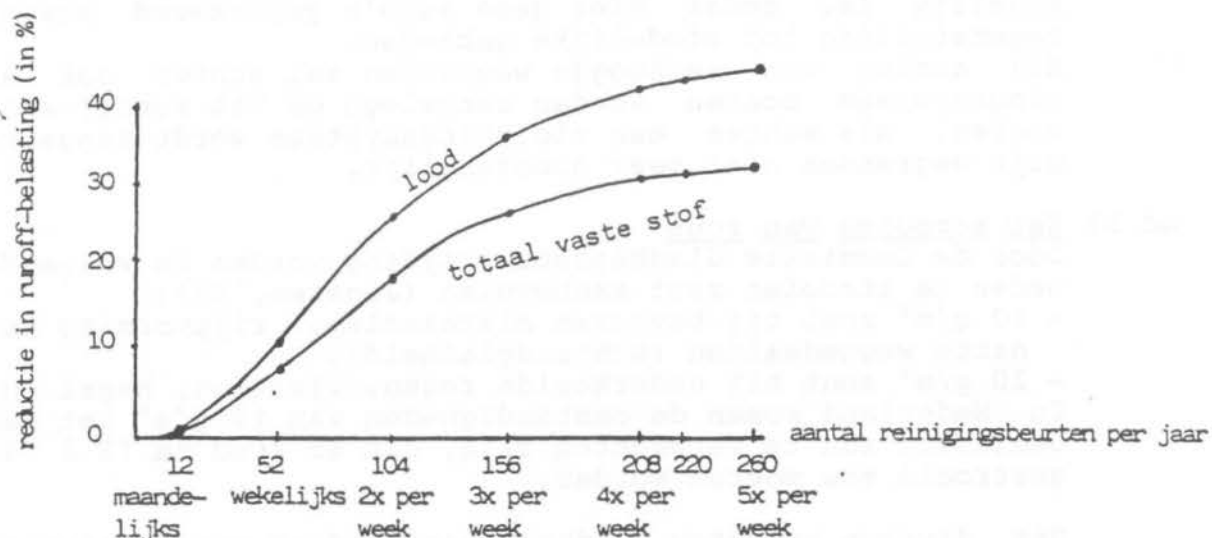
In de literatuur worden ook verwijderingspercentages van 0 % zelfs negatieve verwijderingspercentages gevonden, met name voor de kleinere deeltjes.

Een verklaring kan zijn dat door het vegen juist kleine stofdeeltjes ontstaan.

De efficiëntie van straatreiniging blijkt het sterkst afhankelijk te zijn van het tijdsinterval tussen de afzonderlijke buien relatie met het tijdsinterval tussen het vegen van het wegdek. Volgens Sartor en Garboursy kan 10-30 % van de totale hoeveelheid straatvuil (in stedelijke gebieden) worden verwijderd als het tijdsinterval tussen de afzonderlijke reinigingen ten hoogste het tijdsinterval tussen twee regenbuien is. Dat komt globaal neer op 1x per week (vegen). Om hogere rendementen te halen (50 %) moet er volgens Sartor en Garboursy ongeveer 2 à 3 keer per week worden geveegd.

Een rendement van 50 % is in de praktijk waarschijnlijk echt niet haalbaar, zoals ook blijkt uit een praktijkproef waar een verwijderingspercentage werd gehaald van circa 30 % bij 5x per week vegen (zie figuur 2.2).

rendement van 50 % is in de praktijk waarschijnlijk echter niet haalbaar, zoals ook blijkt uit een praktijkproef waar een verwijderingspercentage werd gehaald van circa 30 % bij 5x per week vegen (zie figuur 2.2).



Figuur 2.2: Reductie van de runoff-belasting door reiniging van het wegdek

Een hogere veegfrequentie heeft tot gevolg dat de gemiddelde deeltjesgrootte van het straatvuil zal afnemen, omdat kleinere deeltjes relatief slechter verwijderd worden.

De kleinste deeltjesfracties bezitten echter relatief de grootste vervuilingspotentie (Nelissen, '82) door het grotere specifieke oppervlak.

Hierdoor wordt het nuttig effect van vaker vegen op de verwijdering van milieuvreemde stoffen in de runoff (zware metalen, olie, PAK's) tegengewerkt, omdat deze stoffen met name aan de fijnere deeltjes zijn geadsorbeerd.

Evaluatie

De meest efficiënte reductie van de stoffenbelasting van de runoff (niet van de wijdere omgeving van de weg) zou zijn het vegen van de weg voor een regenbui.

In de praktijk zal straatreiniging met een veegauto de stoffenbelasting van de runoff naar verwachting globaal met 10-30 % kunnen verminderen. De veegfrequentie zal dan circa 1 à 2 maal per week moeten zijn.

Deze schattingen zijn gemaakt aan de hand van meetgegevens in stedelijke gebieden.

Wellicht kan bij rijkswegen een wat hoger rendement worden gehaald door op deze wegen langs aanwezige verhoogde wegranden vegen en op de vluchtstroken.

Uit hoofdstuk 2.2.1 is namelijk gebleken dat het grootste percentage van het vuil (circa 90-95 % in stedelijke gebieden) zich op-

hoopt langs stoepranden en dat op vluchtstroken het straatvlak wellicht eveneens accumuleert (over dit laatste zijn geen exacte gegevens gevonden). Het voordeel van het vegen van een smal wegdeel langs een verhoogde wegrand bij rijkswegen is dat dit mogelijk is, omdat hier geen auto's geparkeerd staan; dit is tegenstelling tot stedelijke gebieden.

Bij aanleg van verhoogde wegranden zal echter ook een rioolringssysteem moeten worden aangelegd om het runoff-water af te voeren. Als echter een rioleringsysteem wordt aangebracht, zijn wegranden niet meer noodzakelijk.

ad b) Het strooien van zout

Door de Commissie Gladheidsbestrijding worden de volgende hoeveelheden te strooien zout aanbevolen (Janssen, '85):

- 10 g/m² zout bij bevroren mistaanslag, rijpvorming en bevroren natte weggedeelten (ochtendgladheid).

- 20 g/m² zout bij onderkoelde regen, ijsregen, hagel en sneeuw.

In Nederland komen de omstandigheden van 10 g/m² het meest voor. Gemiddeld zou te verwachten zijn, dat er rond de 13 à 14 g/m² gestrooid zou moeten worden.

Uit diverse enquêtes gladheidsbestrijding van de afgelopen jaren bleek dat er op de Rijkswegen gemiddeld circa 23 g/m² per keer wordt gestrooid en dat de strooifrequentie circa 40x per jaar is. Dit betekent $40 \times 23 = 920 \text{ g/m}^2, \text{j}r = 9200 \text{ kg/ha weg, jr}$.

In tabel 2.5 zijn metaalgehalten in zout omgerekend naar belastingen per ha wegdek per jaar, uitgaande van bovengenoemde zoutbelasting van 23 g/m² en een strooifrequentie van 40 keer per jaar.

	metaalgehalten in strooizout 1) (mg/kg)	belasting van een weg met met alen uit strooizout (g/ha, jr)
arseen (As)	0,02	0,18
cadmium (Cd)	0,001	0,009
koper (Cu)	0,02	0,184
lood (Pb)	0,04	0,368

- 1) Door AKZO gemeten gehalten; overige analyses waren niet voorhanden.

Tabel 2.5: Jaarlijkse belasting van een weg met zware metalen uit strooizout (in g/ha wegdek, jr)

In de toekomst zal wellicht volledig worden overgeschakeld op de zogenaamde "natte-strooimethode".

Bij deze methode heeft 10 gram van dit zout de volgende samenstelling:

7,14 gram NaCl (Natriumchloride)

0,46 gram CaCl₂ (Calciumchloride)

2,4 gram water

Bij deze methode wordt aanbevolen om 7-20 g/m² te strooien. In de

praktijk (winter '82-'83) was het gemiddelde verbruik bij twee onderzoeken 4,6 respectievelijk 10,3 g/m².

Op basis van deze gegevens wordt hierbij aangenomen dat er bij de "natte-strooimethode" 10 g/m² (= 100 kg/ha) wordt gestrooid. Het calciumchloride in dit zout bevat 10-20 mg/kg aan metalen (Janssen, '85).

Met andere woorden, de metaalbelasting bij de natte strooimethode is:

$40 \text{ strooi beurten} \times 4,6 \text{ kg CaCl}_2/\text{ha, jr} \times 10 \text{ mg/kg} \times 10^{-3} = 1,84 \text{ g/ha, jr}$ (aan zware metalen) resp. 3,68 g/ha, jr als de metaalconcentratie in het calciumchloride 20 mg/kg zou zijn.

Evaluatie

Uit bovenstaande berekeningen op basis van summiere gegevens voor wat betreft metaalgehalten blijkt dat bij toepassing van de "natte strooimethode" de hoeveelheid zware metalen, die op het wegdek worden gebracht in vergelijking met de "droge strooimethode" met globaal een factor 5 toeneemt. Dit is te wijten aan het gebruik van calciumchloride, dat, hoewel het verhoudingsgewijs in kleine hoeveelheden (in vergelijking met natriumchloride) wordt bijgemengd, aanzienlijk hogere metaalgehalten heeft.

Over toevoegingen van stoffen als antibakmiddelen of kleurstoffen aan strooizout waren geen gegevens bekend, zodat geen uitspraak kan worden gedaan over de milieubelasting met dergelijke stoffen door runoff van wegen.

2.3 Verkeerskarakteristieken

2.3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2.3 zal voor zover mogelijk worden aangegeven wat invloed is van de volgende verkeerskarakteristieken op de hoeveelheid en samenstelling van de runoff:

- verkeerssamenstelling
- verkeersintensiteit
- verkeerssnelheid
- typen en kwaliteit van de brandstof

2.3.2 Invloed van de verkeerssamenstelling op de runoff

In de geraadpleegde literatuur worden geen pertinente uitspraken gedaan over de invloed van verschillen in verkeerssamenstelling (hierbij wordt met name gedacht aan het percentage vrachtauto's) op de kwaliteit van de runoff. In het algemeen wordt gememoreerd dat er waarschijnlijk wel een bepaald verband aanwezig is. In het onderhavige literatuuronderzoek waren enkele artikelen, waar melding werd gemaakt van het vrachtautopercentage. Voor een statistische analyse van het vrachtautopercentage en een bepaalde parameter in de runoff (bijvoorbeeld een metaal) waren niet voldoende gegevens beschikbaar.

Een mogelijke relatie tussen het vrachtwagenpercentage en het gehalte aan PAK's in de runoff kon door gebrek aan gegevens niet worden onderzocht.

2.3.3 Invloed van de verkeersintensiteit op de runoff

In de literatuur wordt er steeds vanuit gegaan dat er een positieve correlatie bestaat tussen de verkeersintensiteit en de runoffkwaliteit.

De totale stoffenafvoer met de runoff wordt vaak omgerekend naar de volgende eenheden:

- gram per voertuig - afgelegde kilometer
- gram per kilometer weglengte per jaar

Het feit dat voor de eenheid g/voertuig, km in sommige publicaties een vrij representatief en consistent getal wordt gevonden, wordt naar onze mening veroorzaakt door onderzoek naar, en vergelijking van wegen met een vergelijkbare verkeersintensiteit. Indien wegen met een wezenlijk andere verkeersintensiteit mede waren betrokken in het onderzoek, zouden de resultaten niet consistent zijn geweest.

Dit blijkt ook uit een artikel van Klein, waarin de resultaten worden vergeleken met onderzoeken in Noorwegen, Zwitserland en de U.S.A.

Van de Ven en Van der Griendt ('86) constateren eveneens duidelijke verschillen, waarbij wordt opgemerkt dat met name de verkeersintensiteit van invloed is op de volgende wijze:

Wordt uitgegaan van de veronderstelling dat zich op het wegoppervlak maar een beperkte hoeveelheid vervuiling kan afzetten en dat de rest verwaait (o.a. James en Boregowda, '86; Huber et al., '75; Sartor en Boyd, '72; zie ook hoofdstuk 3) onder andere als gevolg van de door de voertuigen veroorzaakte turbulentie, dan zal de

vuillast per voertuig afnemen naarmate de verkeersintensiteit toeneemt. Ook Klein constateert dat de stoffen-toename op wegen niet lineair is, maar zich ten gevolge van verliezen (hoofdzakelijk door wind) instelt op een bepaald maximaal evenwichts-niveau (zie ook hoofdstuk 3).

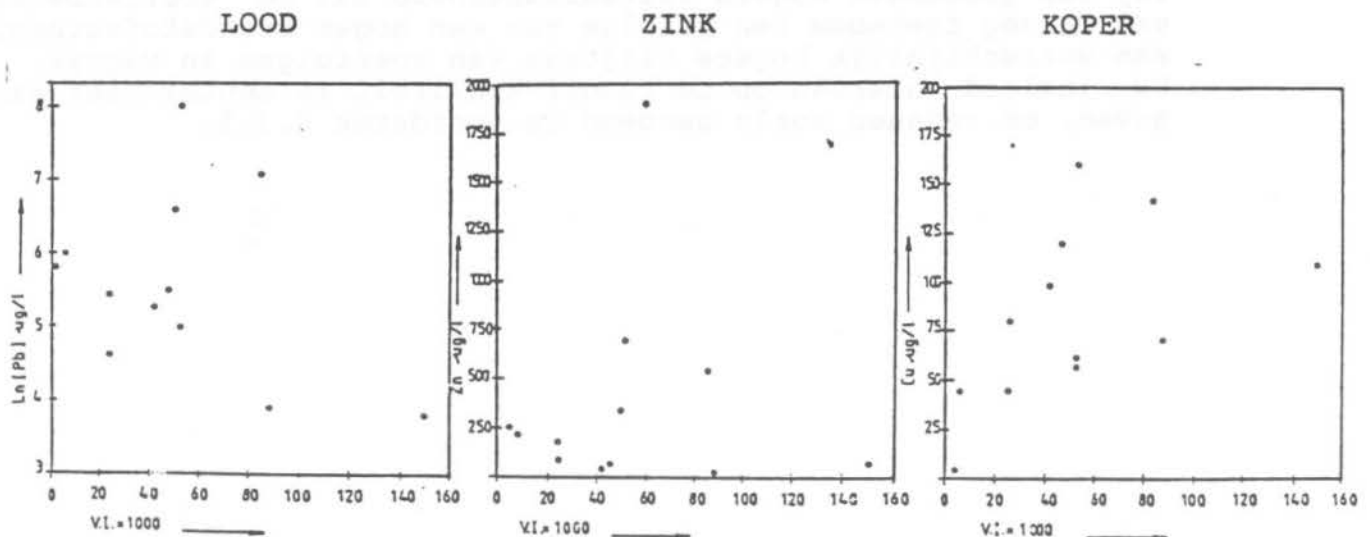
Ook zeer snel verkeer en/of een wat hogere wegligging ten opzichte van de omgeving en/of de afwezigheid van een verhoogde wegrand leiden volgens Klein tot sterke stofverwaaiingen, evenals het verstuiven door regen. Klein concludeert hieruit dat de invloed van de verkeersintensiteit op de runoff-kwaliteit aldus wellicht voor een groot deel, zo niet geheel, wordt overschaduwd door de topografische ligging en windinvloeden.

In hoofdstuk 4 worden de runoff-concentraties uit verschillende literatuuronderzoeken besproken, die van belang werden geacht (zie ook bijlage I, tabel I.1: runoff-concentraties).

Aan de verschillende stoffen-concentraties in deze runoff zijn enkele statistische berekeningen uitgevoerd, om het verband tussen verkeersintensiteit en deze concentraties te onderzoeken.

Slechts de concentraties van koper en zink hebben een normale, en lood een lognormale verdeling, en zijn dus geschikt voor de berekening van een correlatie-coëfficiënt. Gegeven het geringe aantal waarnemingen (13), zal de waarde, waarbij de correlatie-coëfficiënt als significant wordt beschouwd, vrij hoog liggen. Beter is de relatie grafisch weer te geven door middel van een scattergram (fig. 2.3). Alleen koper lijkt gerelateerd aan de verkeersintensiteit, de correlatie-coëfficiënt is echter slecht 0,31, terwijl waarden groter dan 0,45 als significant kunnen worden beschouwd.

Figuur 2.3: Scattergram van de stoffen-concentraties en de verkeersintensiteit



Uit statistische berekeningen blijkt dat er geen relatie wordt aangetoond tussen de verkeersintensiteit en de stoffenconcentraties in de runoff.

Bovenstaande bevindingen bevestigen weer het beeld dat de optredende stoffenaccumulatie op een weg zich waarschijnlijk al vrij snel op een bepaald maximaal niveau instelt (zie ook hfdst. 3). Dit niveau hangt vermoedelijk nauwelijks af van de verkeersintensiteit.

Ook het uitdrukken van de stoffenafvoer in de eenheid gram/km² dek, jr is ons inziens niet zinnig, omdat er van een bredere per strekkende kilometer meer straatvuil afstroomt dan van een smallere weg. Op deze wijze uit de literatuur berekende waarden blijken onderling niet vergelijkbaar te zijn.

Evaluatie

Er is geen relatie gevonden tussen de verkeersintensiteit en stoffenconcentratie in de runoff. Daarom heeft het ook geen zin de stoffenconcentratie weer te geven in eenheden, waarin het aantal voertuigen is verwerkt, omdat aldus opgegeven waarden in de literatuur onderling niet vergelijkbaar zullen zijn.

Daar de stof op een weg blijkbaar vrij snel accumuleert tot een bepaald maximum niveau (zie ook hfdst. 3), wordt aangeraden om de stoffenafvoer in de runoff uit te drukken in kg/ha wegdek, jr.

Dit zal een veel stabielere indicatie geven van de hoeveelheid afstromend straatvuil dan de (schijnbare) produktie per voertuig.

2.3.4 Invloed van de verkeerssnelheid op de runoff

Bij een gemiddeld hogere verkeerssnelheid zal de stoffenbelasting van de weg toenemen ten gevolge van een hoger brandstofverbruik en een waarschijnlijk hogere slijtage van voertuigen en wegdek.

De invloed hiervan op de runoff-kwaliteit is echter niet aan te geven, om redenen zoals genoemd in hoofdstuk 2.3.3.

2.3.5 Invloed van de brandstofkwaliteit op de runoff

Door Scheele (1986) zijn de in tabel 2.7 weergegeven brandstofverbruiken en loodemissies uitgerekend voor Nederland (uitgaande van gegevens van het CBS, Statistiek van de Motorvoertuigen) voor het jaar 1983:

	brandstof- verbruik (in mln ltr/ jaar)	loodemissie (*) (ton/jr)	koolwater- stoffen- emissie (ton/jr)	stofemissie (ton/jr)
BENZINE:				
pers.auto's	4484	1210		
bestelauto's	241	70		
vrachtauto's	3	-		
	---- +			
Totaal	4728			
DIESEL:				
pers.auto's	545			
bestelauto's	192			
vrachtauto's	858			
	---- +			
Totaal	1595			
LPG				
pers.auto's	146			
bestelauto's	67			
	--- +			
Totaal	213			
Totaal personenauto's			128.000	7600
Totaal bestelauto's			11.000	2100
Totaal vrachtauto's			26.700	14700

- * Cijfers gebaseerd op een loodgehalte van 0,36 g/liter en de aanname dat 75 % van het loodgehalte van brandstoffen wordt uitgestoten. De loodconcentratie is per 1 okt.'86 teruggebracht tot 0,15 g/l. Doordat tevens meer gebruik wordt gemaakt van loodvrije benzine, wordt de looduitworp naar verwachting met 60 à 70% verminderd.

Tabel 2.7: Brandstofverbruik personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's en bijbehorende emissies aan lood, koolwaterstoffen en stof in 1983

In tabel 2.7 zijn de onder koolwaterstoffen genoemde emissies niet verbrande brandstofresten, die vergelijkbaar zijn met minerale olie.

Door Scheele (1986) worden naast lood geen emissies aan andere zware metalen of aan PAK's gegeven. Wel worden emissies gegeven voor zwaveldioxide, koolmonoxide en stikstofdioxide; deze worden in het kader van deze studie buiten beschouwing gelaten.

Voor de berekening van de totale emissie van de zware metalen zink, chroom, koper en nikkel wordt uitgegaan van gehalten aan deze zware metalen in benzine en diesel, die werden gevonden in relatief oude Amerikaanse literatuur (Shaheen, 1975; zie tabel 2.8).

	* B.Z.V. mg/g	* C.Z.V. mg/g	olie+ vet mg/g	Pb ug/g	Zn ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Ni ug/g
benzine	154	682	1,3	660	10	15	4	10
dieselolie	80,2	399	385	12	12	15	8	8
motorolie	143	220	989	9	1060	0	3	17
transmissieolie	102	193	985	8	240	0	0	21
anti-vries	37,6	1102	143	6	14	0	76	16
remvloeistof	25,8	2420	883	7	15	19	5	31
asfalt	1,2	85	21,4	100	160	360	51	117
rubber	26,8	2097	191	1110	617	180	250	170
remvoeringen	16,9	416	30,5	1050	120	2200	30600	745

* BZV = biologisch zuurstofverbruik
CZV = chemisch zuurstofverbruik

Tabel 2.8: Gehalten aan verontreinigde stoffen in benzine, diesel en andere verkeersgebonden toepassingen (uit Amerikaanse literatuur, 1975)

In tabel 2.9 worden de berekende totaalemissies aan zink, chroom, koper en nikkel buiten de bebouwde kom op jaarbasis weergegeven uitgaande van de gegevens uit de tabellen 2.7 en 2.8.

Voorbeeld: Uitgaande van een koperconcentratie in benzine van 10 ug/g, een soortelijk gewicht van benzine/diesel van $\pm 0,9$ ton/m³ en een totaal benzine-verbruik van 4728 miljoen liter per jaar, wordt de berekende koperemissie 17,0 ton/jr.

Volgens Feenstra en van der Most (1985) wordt hiervan ± 30 % binnen de bebouwde kom geproduceerd (naar CBS-gegevens uit 1980). De koperemissie buiten de bebouwde kom wordt dan globaal $0,7 : 17,0 = 11,9$ ton/jr.

Deze emissies op jaarbasis zijn in tabel 2.9 omgerekend naar de emissie-eenheid kg/ha wegdek, jr, uitgaande van de aanname dat het totale verharde wegoppervlak in Nederland, buiten de bebouwde kom, ongeveer 30.000 ha groot is (naar gegevens uit Statistiek van de wegen, 1 januari 1985; CBS-publicatie).

De koperemissie buiten de bebouwde kom ten gevolge van benzine-verbruik wordt aldus:

11.900 kg/jr

----- = 0,40 kg/ha, jr

30.000 ha

Voor lood wordt uitgegaan van een emissie buiten de bebouwde kom van 70% van 1280 ton op een wegoppervlak van 30000 ha. Dit geeft 30 kg lood per ha.

emissie buiten bebouwde kom		benzine	diesel	totaal
chromium	(ton/jr)	45	15	60
koper		12	8,0	20
nikkel		30	8,0	38
lood		896	12	908
zink		30	12	42
koolwaterstoffen				11600
stof				17080
chromium	(kg/ha wegdek,jr)	1,5	0,51	2,0
koper		0,40	0,27	0,67
nikkel		1,0	0,27	1,3
lood		30	0,40	30
zink		1,0	0,41	1,4
koolwaterstoffen (min.olie)				387
stof (min.olie)				569

Tabel 2.9: Emissies aan zware metalen, koolwaterstoffen en stof buiten de bebouwde kom (in ton/jr en in kg/ha wegdek, jr)

Uit tabel 2.9 blijkt dat de totale uitworp aan zware metalen ten gevolge van het brandstofverbruik zeer aanzienlijk is; in orde van grootte rond 1 kg/ha wegdek,jaar en voor lood (uit benzine) aanzienlijk hoger (30 kg/ha,jr). Door de invoering van loodvrije benzine en de verlaging van het loodgehalte in superbenzine in 1986 is een vermindering van de looduitworp van circa 70% bereikt. Verdere afname van de loodemissie als gevolg van overheidsmaatregelen tot circa 95% ligt in de lijn der verwachting. De uitworp aan koolwaterstoffen en stof is eveneens zeer aanzienlijk.

Bedacht moet worden, dat deze stoffen voor het overgrote deel niet accumuleren op de straat, maar zullen verwaaien. In hoofdstuk 5 wordt de hier berekende uitworp ten gevolge van brandstof-verbruik vergeleken met de totale afspoelhoeveelheden in de runoff.

2.3.6 Invloed van banden, remmen en lekverliezen op de runoff

In tabel 2.10 wordt de geschatte bijdrage van straatvuil weer gegeven van een aantal stoffen ten gevolge van slijtage van banden, remmen en ten gevolge van lekverliezen. In de tekst wordt aangegeven welke aannames hierbij zijn gemaakt.

	totale jaaremissie (in kg/jaar)						emissie (in kg/ha wegdek, jr)				
	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Olie	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
banden 1)	684	950	4220	475	45600	725000	0,02	0,03	0,14	0,02	1,5
remmen 2)	7	130	4	28	1	-	$2 \cdot 10^3$	$0,004 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^3$	$0,09 \cdot 10^3$	$0,03 \cdot 10^3$
lekver- liezen (3) (motor- olie)	-	2	6	12	740	700000	-	$0,07 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$	0,02

Tabel 2.10: Geschatte stoffenbijdrage afkomstig van slijtage van remmen en banden en t.g.v. lekverliezen, buiten de bebouwde kom (in kg/jr en in kg/ha wegdek, jr)

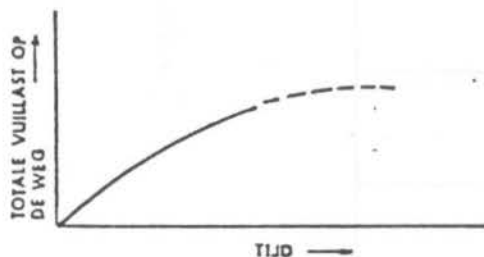
- 1) Feenstra en Van der Most (1985) geven een rubberemissie buiten bebouwde kom t.g.v. bandenslijtage van 3800 ton/jaar. Uit tabel 2.8 zijn de metaalgehalten in rubber genomen (N.B. Amerikaans tabel uit 1975; niet bekend is of deze gehalten ook gelden voor Nederlandse situatie). Voor het zinkgehalte in de banden is uitgegaan van 1,2 gewichtsprocent (naar Feenstra, 1985).
- 2) De emissie-gegevens (in kg/jr) zijn overgenomen uit Feenstra en Van der Most (1985) en omgerekend naar kg/ha, jr uitgaande van 30.000 ha verhard wegoppervlak buiten de bebouwde kom (zie hfdst. 2.3.5).
- 3) Feenstra en Van der Most (1985) geven aan dat de lekverliezen 1 ton per jaar bedragen. Uit tabel 2.8 zijn de metaalgehalten in motorolie genomen (N.B. Amerikaanse tabel uit 1975; niet bekend is of deze gehalten gelden voor de Nederlandse situatie. In feite hadden hier naar onze mening waarden voor afgelopen motorolie moeten worden gehanteerd, waarin volgens Milieudefensie (sept. 1986) zware metaalvoorkomen in concentraties van enkele ppm's (mg/l) tot duizenden ppm's. Exacte gehalten zijn echter niet gevonden). Omgerekend is naar kg/ha, jr uitgaande van 30.000 ha verhard oppervlakte (zie hfdst. 2.3.5).

In hoofdstuk 5 worden de berekende waarden vergeleken met de runoff-concentraties.

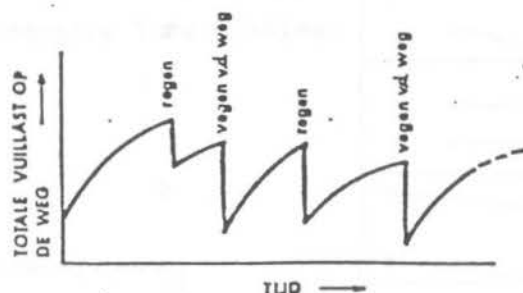
3. VERWIJDERING VAN STRAATVUIL ONDER INVLOED VAN AFSTROMENDE NEER- SLAG EN SEIZOENSINVLOEDEN

3.1 Inleiding

De op een bepaalde plaats geaccumuleerde hoeveelheid vuil blijkt gerelateerd te zijn aan de tijd die verstreken is sinds reiniging, hetzij door vegen hetzij door afstromende neerslag, voor het laatst plaatsvond. Uitgaande van een exponentiële accumulatie van straatvuil (zie fig. 3.1.A) is de invloed van zowel kunstmatige als natuurlijke reiniging op de totale vuillast op het wegdek hieronder weergegeven in fig. 3.1.B. In de onderzochte literatuur wordt vermeld dat de maximale vuillast bij een hoge verkeersintensiteit al binnen 24 uur bereikt kan worden. In het algemeen is er echter sprake van een periode van enkele dagen waarbinnen deze evenwichtssituatie bereikt kan worden (zie ook hoofdstuk 2.3.3). De invloed van kunstmatige straatreiniging wordt beschreven in hoofdstuk 2.3 "Wegbeheer". In hoofdstuk 3.2 "Verwijdering van straatvuil onder invloed van afstromende neerslag" wordt de invloed van natuurlijke reiniging op de samenstelling van de runoff besproken.

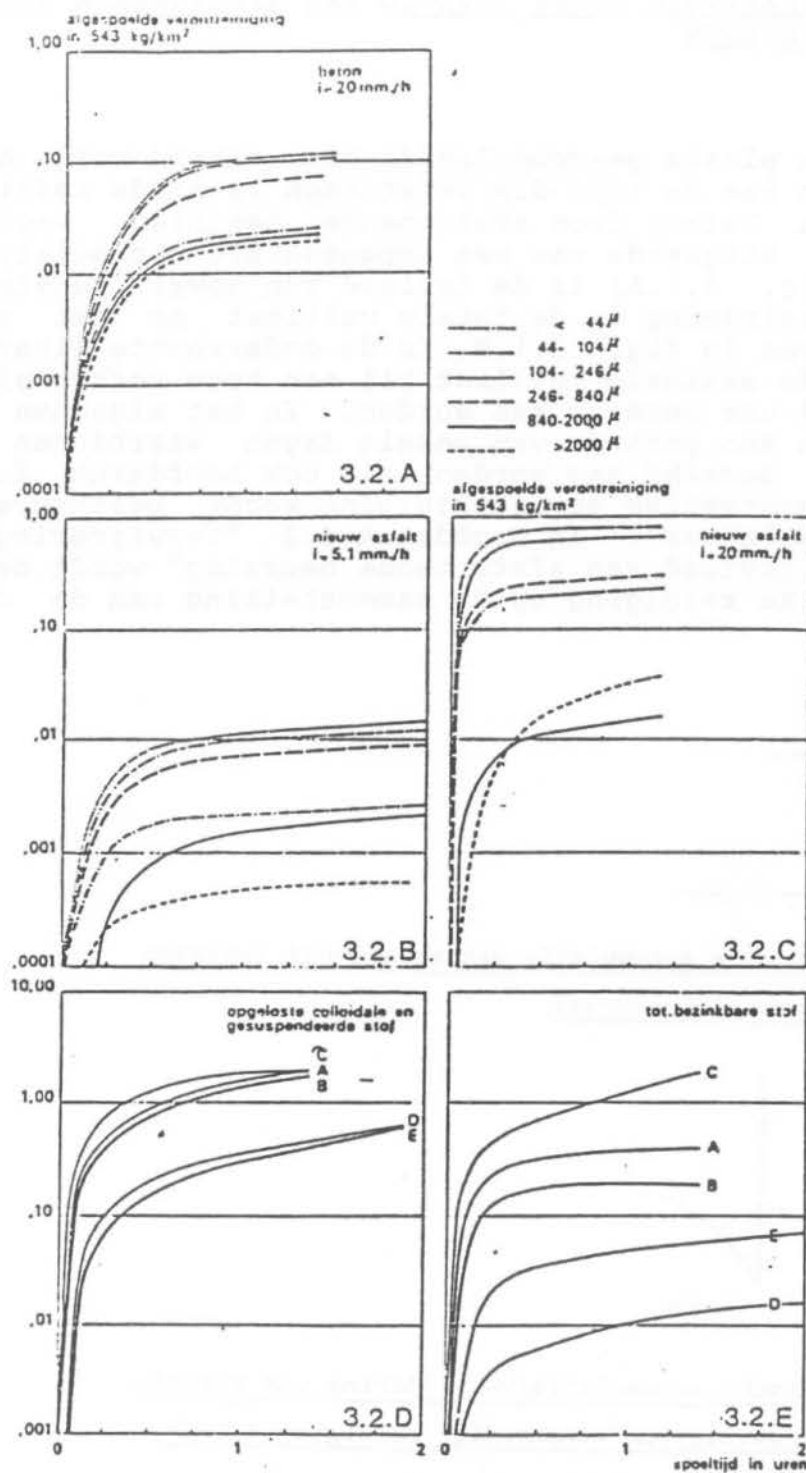


Figuur 3.1.A: Hypothetische accumulatie van straatvuil (volgens een exponentiële curve)



Figuur 3.1.B: Hypothetische accumulatie/verwijdering van straatvuil als gevolg van kunstmatige reiniging en afspoeling door neerslag

Figuur 3.1: Schematische weergave van accumulatie/verwijdering van straatvuil op het wegoppervlak (naar Sartor en Gaboury)



Langs de y-as is cumulatief de afgespoelde hoeveelheid verontreiniging per korrelgroottefractie uitgezet.

Langs de y-as is cumulatief de hoeveelheid stof uitgezet.

Figuur 3.2: Deeltjestransport onder invloed van afstromende neerslag afhankelijk van deeltjesgrootte, type verhardingsmateriaal, toestand van het wegdek en de regenintensiteit
(Nelissen 1982, naar Sartor & Boyd, 1972).

3.2 Verwijdering van straatvuil onder invloed van afstromende neerslag

De verwijdering van straatvuil door afstromende neerslag blijkt volgens het hieronder beschreven onderzoek waarschijnlijk primair afhankelijk te zijn van de volgende factoren:

- de neerslagintensiteit en duur
- het verhardingsmateriaal (ook de ruwheid is van invloed)
- de conditie van het wegdek
- de deeltjesgrootte en samenstelling van het straatvuil

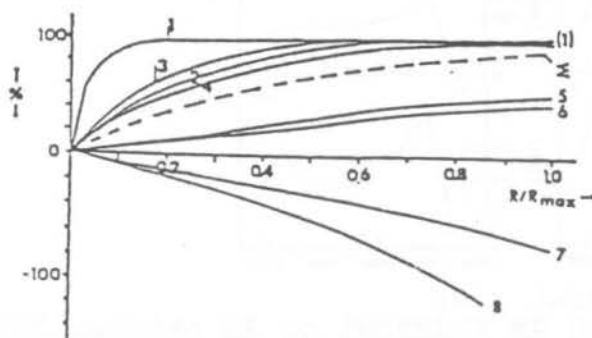
Aan de hand van figuur 3.2 (Nelissen, 1982) wordt de invloed van bovenstaande factoren besproken. De hoeveelheid straatvuil die maximaal kan afspoelen (bij voldoende lange afspoeltijd; uit de grafiek blijkt dat 2 uur voldoende is), is afhankelijk van de neerslagintensiteit (zie figuur 3.2.B en figuur 3.2.C).

Voor de fractie opgeloste en colloïdale gebonden stof geldt dat de hoeveelheid afgespoelde verontreiniging (in kg/km^2) oploopt volgens de reeks: nieuw asfalt, beton, oud asfalt (zie figuur 3.2.D). Voor de totale hoeveelheid bezinkbare stof geldt dezelfde reeks (zie figuur 3.2.E). In tegenstelling hiermee is de uitspraak die aan de hand van figuur 3.2.A en 3.2.C gedaan moet worden, namelijk dat bij een zelfde neerslagintensiteit een grotere hoeveelheid verontreiniging van nieuw asfalt afspoelt (zie figuur 3.2.C) dan van beton (zie figuur 3.2.A). Een afdoende verklaring hiervoor wordt niet gegeven, zodat geen duidelijk verschil in straatvuilafspoelhoeveelheden tussen een betonnen wegdek of een wegdek van asfalt kan worden aangegeven (zie ook hfdst. 2.2.1).

Absoluut gezien blijken grotere gewichtshoeveelheden kleinere deeltjes dan grotere deeltjes af te spoelen. Wat echter percentageel per deeltjesfractie afspoelt, kan uit fig 3.2 niet afgelezen worden, omdat de deeltjesgrootteverdeling van het straatvuil voor de regenbui niet gegeven wordt.

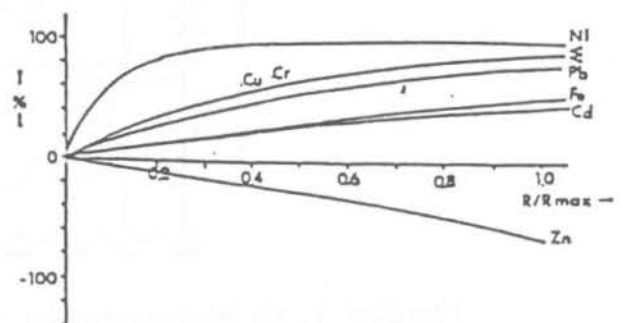
Figuur 3.3: De relatieve verwijdering van straatvuil door afstromende neerslag

Fig.3.3.A: per deeltjesgrootte



- | | | |
|-------------------|------------------|----------------|
| 1 0.025 mm | 4 0.16 - 0.25 mm | 7 1.0 - 1.6 mm |
| 2 0.025 - 0.08 mm | 5 0.25 - 0.5 mm | 8 1.6 mm |
| 3 0.08 - 0.16 mm | 6 0.5 - 1.0 mm | |

Fig.3.3.B: per metaal

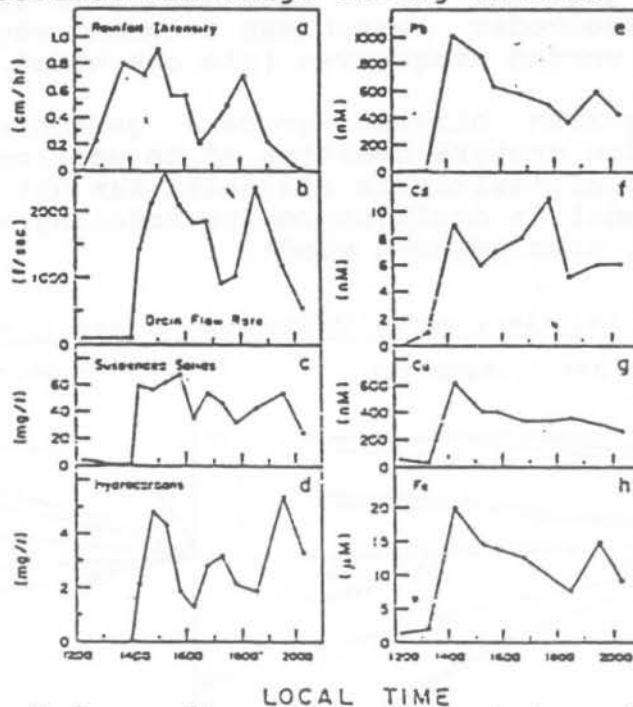


R = initiële neerslag
 R_{max} = maximale effectieve neerslag

(naar Grottker)

Figuur 3.3.A geeft de relatie tussen de intensiteit van de neerslag, en de relatieve verandering in procenten van de deeltgrootteverdeling in achterblijvend vuil; figuur 3.3.B geeft relatie tussen de neerslagintensiteit en de relatieve toename of afname in procenten van de zware metalen per kg achterblijvend vuil. Daar de totale hoeveelheden achterblijvend vuil door Groenker niet wordt vermeld, is het niet mogelijk uit deze grafieken afspoeling aan stoffen te berekenen. Wel blijkt dat de kleine deeltjes beter verwijderd worden door natuurlijke reiniging (in tegenstelling met kunstmatige reiniging = vegen). Uit de relatieve toename van zink en de grote deeltjes mag worden geconcludeerd dat zink voor een gedeelte is gebonden aan de grote deeltjes (b.v. bandenslijpsel).

De invloed van de neerslagintensiteit op de samenstelling van runoff wordt eveneens weergegeven in onderstaande figuur 3.4 (Hoffman et al.). In dit figuur zijn de neerslagintensiteit (cm/uur), de "flow rate" (in l/sec) en de concentraties van enkele stoffen in de runoff (in mg/l) tegen de tijd uitgezet. Een hoge neerslagintensiteit blijkt te resulteren in een verhoogde "flow rate" en in verhoogde concentraties van de runoff. Uit figuur 3.4 blijkt dat de maximale concentraties van de runoff enkele uren bereikt worden (het zogenaamde "first flush"-effect tijdens het begin van een bui). Van belang voor de interpretatie is het feit dat de gegevens zijn verkregen door monsternamen in rioleringsstelsel van enige omvang en niet "langs de weg".



Figuur 3.4: Hydrografie van de regenbui op 25 oktober 1980
 (2a) neerslagintensiteit; (2b) "drain flowrate";
 (2c) concentratie zwevende deeltjes; (2d) TOC;
 (2e) totale lood-concentratie; (2f) totale cadmium-concentratie;
 (2g) totale koper-concentratie en (2h) totale ijzer-concentratie (naar Hoffman et al., verkeersintensiteit 101 mv/etm).

Behalve de intensiteit van de neerslag zijn ook de frequentie waarmee deze optreedt en de daartussen liggende perioden van droogte van groot belang. Regenval met tussenliggende lange perioden van droogte leidt namelijk tot minder verontreiniging in de afstromende runoff dan kort opeenvolgende buien.

Dit wordt verklaard door de stoffenafvoer met de wind en door verkeer veroorzaakte turbulentie, die plaatsvindt gedurende perioden van droogte. In dit rapport worden echter de afspoelhoeveelheden van stoffen in de runoff (hfdst. 4) op jaarbasis vergeleken, waardoor lange droge of natte periodes worden uitgemiddeld.

3.3 Bijdrage van regenwater aan de runoff

Om een indruk te krijgen van de stoffenbijdrage van regenwater aan de runoff, zijn in tabel 3.3 de afspoelhoeveelheden van stoffen in de runoff, in regenwater met stof en in gefiltreerd regenwater (in kg/ha,jr) opgegeven.

De bijdrage van regenwater met stof blijkt consequent, volgens verwachting, hoger te zijn dan die van regenwater zonder stof. De bijdrage van regenwater blijkt per element sterk te variëren en blijkt bij vergelijking met de hoeveelheden in de runoff niet verwaarloosd te mogen worden. De voor de Nederlandse situatie berekende waarden lijken betrouwbaarder dan de voor de Duitse situatie berekende waarden; voor de Duitse situatie is de bijdrage van stoffen uit regenwater aan de runoff vaak onwaarschijnlijk hoog. De lokatie en hoogte waarop de neerslagkwaliteit werd gemeten, is niet bekend.

Bij de bespreking van de stoffenbalans (hfdst. 5) zijn, met betrekking tot neerslag, de gegevens van RIVM gebruikt (kolom 20 uit tabel 3.3: regenwater + stof), omdat deze van toepassing zijn voor de Nederlandse situatie.

3.4 Spatverliezen

Naast stoffenafvoer door afstromende neerslag vindt ook afvoer plaats door spatverliezen. Deze worden veroorzaakt door het verstuiwen van water door de banden van passerende auto's. Een schatting van de percentuele afvoer is gedaan op grond van gegevens uit een onderzoek naar de belasting van de bodem met strooizout (Ferrari et al., '77). Hieruit blijkt dat circa 12 % van strooizout door verwaaiing in de wegberm terechtkomt, terwijl de resterende 88 % hierin via afspoeling terechtkomt. Ook werd geconcludeerd dat circa 95 % van het gestrooide zout door afspoeling en verstuiwing op een smalle strook van 1 à 2 m breedte naast de wegverharding terechtkwam en de overige 5 % door verstuiwing op grotere afstanden van de weg. Op basis van deze summiere gegevens is het percentage van de runoff dat door spatverliezen "verloren gaat" op 5-10 % geschat. Dit onderzoek door Ferrari is uitgevoerd op een weg met een vluchtstrook. Bij een weg zonder vluchtstroken zijn naar verwachting de spatverliezen groter. Ook zal een breder deel van de berm worden verontreinigd.

3.5 Seizoensinvloeden

De invloed van seizoensfluctuaties op de samenstelling van runoff is bestudeerd door de concentraties van de tijdens de verschillende seizoenen bemonsterde runoff onderling te vergelijken. De concentraties van de runoff blijken wel variabel te zijn, maar variëren niet volgens een vaststaand, eenduidig patroon. In onderzochte literatuur worden tegenstrijdige uitspraken gevonden wat betreft de seizoensinvloeden op de samenstelling van de runoff en kan er geen eenduidige seizoensinvloed vastgesteld worden. De invloed van sneeuw (mogelijk groot bergend vermogen) is niet aangetroffen in de literatuur.

3.6 Evaluatie

De hoeveelheid vuil, die maximaal van het wegdek kan afspoelen als gevolg van afstromende neerslag, blijkt afhankelijk te zijn van de neerslagintensiteit. Buiten de neerslagintensiteit wordt het afspoelingsproces bepaald door (de fysische toestand van het verhardingsmateriaal, de conditie van het wegdek, de deeltjesgrootte van het straatvuil en de neerslagfrequentie).

Voor de spatverliezen wordt, uitgaande van summier gegevens, geschat dat deze 5 à 10 % van de totale runoff hoeveelheid bedragen.

Uit de literatuur blijkt niet dat de gemiddelde runoff-samenstelling seizoens-afhankelijk is (met uitzondering van strooizout). Eventueel te nemen maatregelen om de schadelijke effecten van runoff op het milieu te beperken, kunnen derhalve niet seizoensafhankelijk worden ingesteld (maar aan strooizout-verontreiniging met chloride wordt in dit rapport geen aandacht besteed).

afspoelhoeveel- heden (kg/ha, jaar) variabelen	A 81 (Klein, '82)					A 6 (Klein, '82)					A 81/B 10 (Klein, '82)					Dauber et al., '79			Oldenkamp en van der Ven '86		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
suspended solids	950	170	18%	55	6%	1200	280	23%	71	6%	1400	200	14%	62	4%	820	40	5%	1100	-	-
minerale olie	47	4,9	10%	3,2	7%	38	3,8	10%	2,0	5%	14	2,3	16%	2,0	14%	-	-	-	43	-	-
lood	1,4	0,33	24%	0,24	17%	1,6	0,31	19%	0,22	14%	1,0	0,16	18%	0,13	13%	2,5	0,76	30%	3,7	0,10	2,7%
cadmium	0,04	0,01	25%	0,01	25%	0,04	0,01	25%	0,01	25%	0,02	<0,01	< 50%	<0,01	< 50%	0,03	0,03	100%	0,02	<0,01	<50%
koper	0,68	0,22	32%	0,16	24%	0,76	0,13	17%	0,08	11%	0,37	0,06	16%	0,04	11%	0,35	0,09	26%	0,53	0,06	11%
chrom	0,07	0,04	57%	0,02	29%	0,14	0,02	14%	0,01	7%	0,03	0,02	67%	0,01	33%	-	-	-	0,11	<0,01	<9%
zink	2,5	1,26	50%	0,94	38%	4,0	0,91	23%	0,71	18%	2,0	0,57	29%	0,49	25%	1,9	0,68	36%	2,7	0,39	14%
PCA	0,02	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-

Tabel 3.3: De procentuele bijdrage van neerslag aan de stoffenbelasting van de runoff

(De afspoelhoeveelheden worden gegeven in kg/ha wegdek, jr)

- 1 = runoff A 81
 2 = regenwater met stof
 3 = bijdrage regenwater met stof aan runoff
 4 = regenwater zonder stof
 5 = bijdrage regenwater zonder stof aan runoff
 6 = runoff A 6
 7 = zie 2
 8 = zie 3
 9 = zie 4
 10 = zie 5
 11 = runoff A 81/B 10

- 12 = zie 2
 13 = zie 3
 14 = zie 4
 15 = zie 5
 16 = runoff
 17 = zie 2
 18 = zie 3
 19 = runoff mediane waarden, Oldenkamp & v.d. Ven, '86
 20 = regenwater met stof (op basis van de gegevens van RIVM, Meetnet Regenwater)
 21 = bijdrage regenwater met stof aan runoff

4. RUNOFF-SAMENSTELLING

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 worden de invloeden van wegen- en verkeerskarakteristieken op de samenstelling en hoeveelheid van de runoff behandeld.

De samenstellingen van de runoff zoals die in de literatuur worden beschreven zijn in samengevatte vorm in dit hoofdstuk weergegeven.

4.2 Runoff-concentraties

In bijlage I, tabel I.1 en tabel I.1 (vervolg) worden analyses van runoff-water weergegeven van een aantal relevant geachte onderzoeken. Het betreft zowel gemiddelde waarden op jaarbasis als de gemeten piekconcentraties. Opgemerkt wordt hierbij, dat gemeten concentraties in de runoff de gehalten van opgeloste stoffen zwevende deeltjes betreffen (tenzij anders aangegeven).

Tevens zijn in tabel I.1 bijbehorende waarden opgenomen, die in literatuur worden vermeld, zoals de oppervlakte van de betreffende weg, de verkeersintensiteit, de jaarlijkse neerslag, de runoffcoëfficiënt, het wegdek materiaal en wel/geen reiniging van het wegdek. De runoff-coëfficiënt geeft aan welk deel van de aanvoer van neerslag direct tot afvoer komt.

In bijlage I is een korte samenvatting opgenomen van de beschouwde publikaties.

Bij een oppervlakkige beschouwing van tabel I.1 blijkt dat de gemeten gemiddelde runoff-concentraties op jaarbasis (in mg/l) beperkt vergelijkbaar zijn (vergelijking van de Nederlandse waarden van van der Ven en Van der Griendt (1986) met Duitse waarden (met name Klein, 1982) en met overige waarden uit de buitenlandse literatuur.

In enkele onderzoeken is de runoff bemonsterd na afstroming over een begroeide wegberm. Dit wordt aangegeven in tabel I.1. De waarden zijn niet vergelijkbaar. De runoffconcentraties in tabel I.1 zijn niet gecorrigeerd voor achtergrondconcentraties in het regenwater.

In hoofdstuk 2.3.3 werd opgemerkt dat runoff-concentraties uitgedrukt in mg/l onderling moeilijk vergelijkbaar zijn.

Zo variëren bijvoorbeeld de loodconcentraties tussen 52 en 340 ug/l met een gemiddelde van 230; zink varieert tussen 26 en 550 ug/l (gemiddeld 1020 ug/l) en zwevende stof tussen 28 en 4100 mg/l met een gemiddelde van 600 mg/l.

Aangeraden werd in 2.3.3 om de gehalten om te rekenen naar kg/h/jr. In bijlage I, tabel I.2 worden deze omgerekende gehalten weergegeven, waarbij de berekeningen allemaal zijn uitgevoerd voor een hypothetische maximale runoff-coëfficiënt van 1. Dit om de gehalten onderling vergelijkbaar te maken.

Uitgaande van tabel I.2 is tabel 4.1 samengesteld, waarin gemiddelde Nederlandse, Duitse en overige buitenlandse waarden worden weergegeven. (Het betreft in alle gevallen runoff-water dat rechtstreeks van de weg is afgestroomd).

	mediane waarden (van 11 buien) Oldenkamp en v.d. Ven, '86	gemid.Duitse waarden uit Klein '82 en Golwer en Schneider 79 en 82	gem. buiten- landse waarden uit Gupter et al ' Dauber et al '79 Colwill et al '84
neerslag (mm/jr)	747	673 (n=3)	889 (n=7)
verkeers- intensi- teit (voertui- gen/dag)	3200	58000	6500
arseen (kg/ha,jr)	0,01	0,01 (n=1)	
cadmium (kg/ha,jr)	0,01	0,04 (n=4)	0,08 (n=6)
chroom (kg/ha,jr)	0,07	0,11 (n=4)	0,15 (n=5)
koper (kg/ha,jr)	0,37	0,52 (n=4)	0,32 (n=6)
nikkel (kg/ha,jr)	0,07	0,25 (n=1)	
lood (kg/ha,jr)	2,6	1,9 (n=4)	3,0 (n=7)
zink (kg/ha,jr)	1,9	3,2 (n=4)	2,2 (n=7)
min. olie (kg/ha,jr)	30	32 (n=3)	29 (n=6)
PAK-totaal (kg/ha,jr)	0,02	0,02 (n=3)	-
zwevende stof (kg/ha,jr)	740	1700 (n=4)	970 (n=7)
(n = aantal gevonden waarden)			

Tabel 4.1: Vergelijking van Nederlandse, Duitse en buitenlandse runoff vracht in kg/ha wegdek,jr (zie bijlage I.2)
(Voor een onderlinge vergelijkbaarheid berekend met een
maximale runoff-coëfficiënt van 1)

Uit tabel 4.1 blijkt dat de Nederlandse en de buitenlandse literatuur onderling goed vergelijkbaar is, indien de runoff concentraties worden uitgedrukt in kg/ha wegdek/jaar. De Nederlandse en de Duitse hoeveelheid lood in de runoff komt minder goed overeen. De oorzaak hiervan is zeer waarschijnlijk het feit dat het loodgehalte in Duitse benzine aanzienlijk lager is. Per 1 oktober 1986 zijn de loodconcentraties in Nederlandse benzine eveneens aanzienlijk verminderd ($\pm 70\%$ reductie, zie hfd. 2.3.5). Hieraan wordt verder aandacht besteed in paragraaf 4.5.

De minerale olie-gehaltenes uit de Duitse literatuur zijn gemeten met de IR-methode. Deze methode geeft veeleer een indicatie van het gehalte aan organische stof, met tetra extraheerbaar, dan specifiek van olie. Organische stof kan afkomstig zijn van verbrandingsresten, smeerolie, banden, wegslijpsel en bladresten. Deze stoffen bestaan uit koolwaterstoffen (voornamelijk alifatische verbindingen, wat aromaten en sporen polycyclische verbindingen). Het gedrag van deze stoffen, samengevat als minerale olie, is moeilijk te voorspellen, wegens de grote variëteit van componenten. Rekening moet worden gehouden met de afbreekbaarheid (rubriek zal bijvoorbeeld moeilijk afbreken), de oplosbaarheid in water (kleine vaste deeltjes organische stof in suspensie worden makkelijk gefiltreerd in de bodem), en natuurlijk de verschillende adsorptie-coëfficiënten.

Hier is nog weinig over bekend; in de voorspellende berekening wordt geen aandacht besteed aan minerale olie, omdat de afbraakcoëfficiënten onvoldoende bekend zijn. Het belang van afbraak wordt door onder andere Golwer aangegeven, die concludeert dat de verspreiding van organische stoffen in de bodem minder is dan die van de anorganische stoffen; dit wordt vooral veroorzaakt door een begroeide (dus biologisch actieve) bodem.

Er is vooralsnog weinig invloed op de grondwaterkwaliteit gemeten. Ten aanzien van de verschillende componenten is slechts een onderzoek naar de alifaten en PAK's verricht; deze laatste zijn voornamelijk gebonden aan de slibdeeltjes, en zijn alleen in zeer lage concentraties in het grondwater gevonden (ref. Golwer, 1978).

4.3 Verhouding opgeloste hoeveelheid verontreinigende stoffen versus de totale hoeveelheid verontreinigende stoffen in de runoff

In tabel 4.2 worden door Yousef et al. (1985) opgeloste- en totaal gehalten aan zware metalen in runoff-water gegeven.

In deze tabel zijn ook waarden opgenomen van Oldenkamp en Van der Ven (1986).

	Yousef et al., 1985									Oldenkamp en van der Ven, 1986		
	Average Incoming Stormwater Quality (N=16)			Average Retention Basin Water Quality (N=34)			Percent Change Through Retention Basin			% op-		
	Dissolved	Total	Percent	Dissolved	Total	Percent	Dissolved	Total		opgeloste stof	totaal gehalte	geloste stof
	(ug/l)	(ug/l)	Dissolved	(ug/l)	(ug/l)	Dissolved				ug/l	ug/l	
Cadmium	1,1	1,9	58	0,8	1,0	60	-27	-47		1,6		
Zink	50	347	14	5,8	6,4	91	-88	-98	91	250		36 %
Koper	32	60	53	14	15	88	-56	-73	10	49		20 %
Lood	43	723	6	16	22	73	-63	-97	7	340		2 %
Nikkel	3,2	28	11	1,8	2,3	78	-44	-92		9,9		
Chroom	3,3	10	33	2,3	3,4	68	-30	-66		10		
IJzer	48	1176	4	20	61	33	-58	-95		5400		

Tabel 4.2: Percentage aan vaste deeltjes gebonden aan zware metalen in de runoff

Uit tabel 4.2 blijkt dat een groot deel van de zware metalen in de runoff is geadsorbeerd aan vaste deeltjes; uiteenlopend van 94-98% voor lood tot 42% voor cadmium. Vaste deeltjes kunnen van de waterfase worden afgescheiden in een bezinkbassin.

In de literatuur worden vergelijkbare waarden genoemd door Golwer & Schneider (1982) en door Gupta et al. (1981).

Golwer & Schneider (1982) merken op dat PAK's eveneens grotendeels geadsorbeerd aan vaste deeltjes worden aangetroffen.

Klein (1982) geeft aan dat 83 à 89% van de PAK's in geadsorbeerde vorm voorkomt. Aangenomen moet worden dat PAK's ook in deeltjes ingesloten kunnen zijn of als deeltjes voorkomen.

4.4 Evaluatie runoff-concentraties en maximale aanvoer per auto aan afspoelbare hoeveelheden van een stof

In de literatuur wordt met de opgegeven concentraties in de runoff in mg/l vrijwel altijd de totale concentratie (opgeloste stof + aan gesuspenderde deeltjes gebonden stof) bedoeld en niet (zoals gebruikelijk) de concentratie aan opgeloste stoffen. De verontreinigende stoffen blijken grotendeels geadsorbeerd te zijn aan de vaste deeltjes. De concentraties in mg/l zijn onderling slecht vergelijkbaar.

Omrekenen van de runoff-concentraties in mg/l naar kg/ha wegdek levert wel onderling vergelijkbare getallen op. Ook blijkt dat gehalten uit de Nederlandse literatuur vrij goed overeenkomen gehalten uit de buitenlandse literatuur, alhoewel de runoffconcentraties niet zijn gecorrigeerd voor achtergrondconcentraties het regenwater. Uit hoofdstuk 2 bleek al dat het soort wegdek weinig invloed is op de runoff-concentraties, evenmin als verkeersintensiteit. De runoff-concentraties kunnen per bui aanzienlijk verschillen (piekconcentraties). Op jaarbasis liggen concentraties (kg/ha wegdek, jr) echter redelijk dicht bij elkaar. Een momentopname geeft derhalve geen juist beeld. Opgemerkt moet worden dat bij de omrekening naar kg/ha wegdek, jr het oppervlak van vluchtstroken als wegdekoppervlak wordt gerekend.

Bij de beschouwde wegen is de verkeersintensiteit blijkbaar steeds voldoende groot om in relatief korte tijd (enkele dagen) bewerkstelligen dat het maximale niveau tot waartoe stof op de weg kan accumuleren wordt bereikt. Het Nederlandse voorbeeld van de Ven (1986) heeft de kleinste verkeersintensiteit van 3 auto's/dag (tabel I.2). Boven deze verkeersintensiteit zijn de runoff-concentraties (in kg/ha, jr) blijkbaar goed vergelijkbaar (zie tabel 4.1). Onder deze waarde zal ergens een drempel liggen waar beneden de runoff-concentraties niet meer binnen het "modaal" passen; de maximale vuilbelasting van de straat wordt dan niet snel genoeg bereikt (gemiddeld niet voor de volgende bui) omdat aanvoer van stoffen dan te gering is ten gevolge van een te lage verkeersintensiteit.

4.5 Vergelijkende berekeningen

In de nu volgende paragrafen (4.5.1 t/m 4.5.3) wordt aan de hand van algemeen bekende gegevens voor de Nederlandse situatie en gegevens uit tabel 4.1 een aantal vergelijkende berekeningen uitgevoerd. In paragraaf 4.5.4 worden deze berekeningen besproken. De berekeningen worden uitgevoerd voor lood, omdat van dit metaal de meeste gegevens bekend zijn gecorreleerd met verkeerssituatie.

Berekeningen met andere metalen zijn alleen mogelijk, als er voldoende nauwkeurige gegevens over gehalten in brandstoffen bekend zouden zijn.

4.5.1 Gemiddelde situatie in Nederland

Berekeningen voor de gemiddelde situatie in Nederland zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- * De looduitstoot van auto's bedroeg in 1983 ongeveer 1280 t (Scheele, 1986).
- * De looduitstoot wordt veroorzaakt door circa 4 miljoen auto's die op benzine rijden. Van alle motorvoertuigen rijdt 72% op benzine. Per motorvoertuig wordt gemiddeld 13000 km/jaar afgelegd (CBS, Statistiek van Motorvoertuigen).
- * De looduitstoot per op benzine rijdend voertuig bedraagt jaarlijks gemiddeld 325 g, behorend bij 13000 autokilometers.

- * De hoeveelheid lood, die van een weg afspoelt, varieert volgens tabel 4.1 tussen 1,9 en 3,0 kg/ha wegdek, jaar.
Voor de beschrijving van de Nederlandse situatie is uitgegaan van de mediane waarde uit het onderzoek van Van de Ven en Oldekamp (1987) van 2,6 kg/ha, jaar.
- * De totale geasfalteerde weglengte in Nederland bedraagt 65200 km waarvan 15% binnen en 85% buiten de bebouwde kom met een gemiddelde wegbreedte van 8 m (volgens informatie van DWW; zie par. 2.2.1 onder (1)).

Voor de gemiddelde Nederlandse situatie zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

- * Het totale verharde wegoppervlak in Nederland (binnen en buiten bebouwde kom) is 52000 ha bij een weglengte van 65200 km.
- * De totale loodemissie naar dit wegdek bedraagt 1280 ton/jaar. Dit is omgerekend 24,6 kg/ha, jaar.
- * De hoeveelheid lood, die in de run-off wordt aangetroffen (2,6 kg/ha, jaar), bedraagt ca. 11% van de totale loodemissie.
- * De gemiddelde verkeersintensiteit op de Nederlandse wegen wordt als volgt benaderd:
Het aantal door benzineauto's gereden kilometers is $4.000.000 \times 13000 = 52.109$ km/jaar. Dit is 72% van het totaal. Totaal wordt dus afgelegd op een weglengte van 65200 km:
 $52.109 / 0,72 = 72.109$ autokilometers.
Per kilometer weg bedraagt de gemiddelde verkeersintensiteit dan $72.109 / 65200 / 365 = 3035$ auto's/dag.

4.5.2 Lagere loodemissie in Duitsland

De hoeveelheid lood in de runoff in Duitsland is met 1,9 kg/ha, jaar lager dan in tabel 4.1 opgegeven voor Nederland (2,6) en de overige literatuur (3,0 kg/ha, jaar).

Hierop is van invloed dat het loodgehalte in de benzine in Duitsland lager was dan in Nederland.

Inmiddels is in Nederland het loodgehalte in benzine teruggebracht tot ca. 30% van het oorspronkelijke gehalte. Aannemende dat dit overeenkomt met de voor Duitsland gerapporteerde gegevens, kan voor Nederland het volgende gesteld worden:

- * De loodemissie door het verkeer neemt af met 70% van 24 kg/ha, jaar tot 7,2 kg/ha, jaar.
- * Wanneer de hoeveelheid lood in de runoff hierbij zou afnemen van 2,6 naar 1,9 kg/ha, jaar, dan zou de runoff hoeveelheid aan lood relatief toenemen van 11% naar 26%.

Opgemerkt wordt dat de verkeersintensiteit bij de in Duitsland verrichte onderzoeken (58000 voertuigen/dag) beduidend hoger is dan gemiddeld voor Nederland aangegeven (3035 voertuigen/dag).

Ondanks de lagere loodemissie per auto naar het wegdek in Duitsland wordt verwacht dat de accumulatie tijd van lood in het vuilbergend vermogen van de weg in vergelijking met Nederland vergelijkbaar kort zal zijn, aangezien de verkeersintensiteit in de betreffende onderzoeken hoger is.

4.5.3 Situatie bij de proef in Lelystad

De verkeersintensiteit bij het onderzoek van Van de Ven Oldenkamp in Lelystad is 3200 voertuigen/dag. Dit komt overeen de voor Nederland berekende gemiddelde verkeersintensiteit 3035 voertuigen/dag.

De loodemissie naar het wegdek wordt voor deze situatie als volgt berekend:

Het jaarlijks aantal verreden autokilometers op een wegvak van 1 km bedraagt $3200 \times 1 \times 365 = 1.168.000$ autokilometers/jaar.

Hiervan wordt 72% toegerekend aan benzineauto's : 841.000 km/ja

De gemiddelde looduitworp van een benzineauto, waarmee jaarlijks gemiddeld 13000 km wordt gereden, bedraagt 325 g Pb/jaar. looduitworp per met een benzineauto verreden kilometer bedraagt dan 25 mg Pb/autokilometer.

Het wegoppervlak van 1 km weglengte van de bij de proef Lelystad gebruikte weg is bij een wegbreedte van 8 m 0,8 ha.

De loodemissie naar het wegdek is dan :

$841.000 \text{ autokilometer/jaar} \times 25.10^{-3} \text{ kg Pb/autokilometer} / 0,8 \text{ ha}$
 $= 26 \text{ kg/ha,jaar}$

De hoeveelheid lood, die in de runoff werd gemeten (2,6 kg/ha,jaar) is 10% van de totale loodemissie naar het wegoppervlak.

4.5.4 Evaluatie

De omstandigheden in het onderzoek van Van de Ven en Oldenkamp zijn wat betreft de wegbreedte (8 m) en verkeersintensiteit (3200 auto's/dag) vergelijkbaar met de voor Nederland berekende gemiddelde situatie, waarvoor een gemiddelde verkeersintensiteit van 3035 voertuigen/dag werd berekend.

De in Duitsland afwijkend gevonden lagere loodgehalten in de runoff worden veroorzaakt door de lagere loodgehalten in benzine, wat destijds in Nederland nog niet het geval was.

De in Nederland gemeten loodemissie (2,6 kg/ha,jaar) is vergelijkbaar met het gemiddelde van de buitenlandse waarden (2,6 kg/ha,jaar; zie tabel 4.1).

De hoeveelheid lood in de runoff is ca. 10% van de totale loodemissie door het wegverkeer (voor wat betreft de in Lelystad uitgevoerde proef). Niet duidelijk is waar het overige deel van de loodemissie op de weg neergeslagen stoffen blijft. Vermoedelijk wordt een belangrijk gedeelte door verwaaiing via de lucht over een groot gebied verspreid. Uitgaande van de veronderstelling dat de hoeveelheid lood in de runoff niet zou toenemen bij hogere verkeersintensiteiten, dan zal de afgespoelde hoeveelheid lood relatief verder afnemen, doordat de totale emissie toeneemt.

Zodra in een droge periode na een regenbui het vuilbergend vermogen van het wegoppervlak zal zijn verzadigd, zal de stofverwaaiing gelijk geworden zijn aan de vuilemissie door het wegverkeer. De tijd waarin deze evenwichtssituatie wordt bereikt is een functie van het vuilbergend vermogen van de weg en de verkeersintensiteit.

Voor een goede vergelijking van verschillende literatuurgegevens is tevens de duur van de zogenaamde effectieve periode van belang. De effectieve periode bestaat uit de accumulatie-tijd + de periode dat het regent.

Wanneer in een periode tussen twee regenbuien verzadiging van het vuilbergend vermogen van de weg niet wordt bereikt, dan wordt de hoeveelheid verontreiniging in de runoff bepaald door de verkeersintensiteit.

Vanaf het moment dat tussen twee regenbuien verzadiging van het vuilbergend vermogen is opgetreden is de hoeveelheid verontreiniging in de runoff voornamelijk een functie van het wegoppervlak. Daarnaast is de bijdrage van de runoff van het verkeer tijdens de bui wel een functie van de verkeersintensiteit.

Wat betreft de accumulatie-tijd zijn nog weinig gegevens bekend. Het gaat hier vermoedelijk om een periode van enkele dagen.

De minimale verkeersintensiteit, waarbij verzadiging van het vuilbergend vermogen optreedt, is niet bekend. Volgens tabel 4.1 is de hoeveelheid lood in de runoff volgens de buitenlandse literatuur 3,0 kg/ha,jaar bij een gemiddelde verkeersintensiteit van 6500 voertuigen/dag, terwijl in Lelystad een runoff-hoeveelheid werd gemeten van 2,6 kg/ha,jaar bij een gemiddelde verkeersintensiteit van 3200 voertuigen/dag. Beide loodhoeveelheden in de runoff zijn goed vergelijkbaar. Geconcludeerd wordt dat de verkeersintensiteit, waarbij juist verzadiging van het vuilbergend vermogen van de weg wordt bereikt, lager is dan 3200 voertuigen per dag.

Nu bekend is wat voor een willekeurige weg de afspoelingshoeveelheden per ha wegdek op jaarbasis zijn, kan worden berekend wat de bodembelasting is van de naastliggende wegberm of van een naastliggende bermsloot, waarop of waarin het runoff-water terecht komt. In hoofdstuk 7 worden deze berekeningen uitgevoerd.

5. DE STOFFENBALANS

5.1 Inleiding

In hoofdstuk 1 staat beschreven welke aanvoer- en afvoersyste de stoffenbelasting van een weg bepalen (zie fig. 1.1).

Stoffenaanvoersystemen zijn:

- verkeer (uitlaatgassen, slijtage, corrosie en lekkage)
- regenwater en door de wind opgebrachte stoffen (achtergrondde sitie)
- wegdekslijtage (inclusief corrosie van vangrail, verlicht en
- strooizout

Stoffenafvoer vindt plaats door afspoeling (runoff-water), sp verliezen en natte en droge verwaaiing. Van al deze deelsyste is in de vorige hoofdstukken de bijdrage te schatten die zij le ren aan het totale systeem. In dit hoofdstuk worden de stoff aan- en afvoersystemen onderling vergeleken en wordt de tot stoffenbalans ingevuld.

5.2 Bespreking van de stoffenbalans

In tabel 5.1 zijn de berekende emissies aan zware metalen bui de bebouwde kom ten gevolge van neerslag, strooizout, wegdeksl tage en verkeer in kg/ha,jaar opgegeven. Opgave van de stoffena voer door wind ontbreekt, omdat hierover geen gegevens bek zijn.

	Arseen	Cadmium	Chroom	Koper	Lood	Nikkel	Zink	Koolw.stof
<u>STOFFENAANVOER:</u>								
neerslag (zie tabel 3.3)	$5,8 \cdot 10^{-3}$	<0,01	<0,01	0,06	0,10	0,011	0,39	
strooizout (zie tabel 2.5)	$0,18 \cdot 10^{-3}$	$<0,009 \cdot 10^{-3}$	-	$0,184 \cdot 10^{-3}$	$0,368 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
(asfalt)wegdek- slijtage (zie tabel 2.2)		<0,0002	0,078	0,004	0,004	0,038	0,013	5,1
<u>VERKEER:</u>								
banden (zie tabel 2.10)		-	0,02	0,03	0,14	0,02	1,5	24
remmen (zie tabel 2.10)		-	$0,2 \cdot 10^3$	0,004	$0,13 \cdot 10^3$	$0,9 \cdot 10^3$	$0,03 \cdot 10^3$	-
lekverliezen (zie tabel 2.10)		-	-	$0,07 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$	0,02	23
benzine (zie tabel 2.9)		-	1,5	0,40	30	1,0	1,0	} 378
diesel (zie tabel 2.9)		-	0,51	0,27	0,41	0,27	0,41	
Totale aanvoer	$5,8 \cdot 10^3$	0,01	2,0	0,76	31	1,3	3,3	430
<u>STOFFENAFVOER:</u>								
Runoff (zie hfdst.4)	0.01	0.01	0.07	0.37	2.6*	0.07	1.9	30
% van de totale aanvoer		100	3.5	49	8	5.3	57	7

* voor lood is de waarde genomen die geldig is tot 1 oktober 1986; daarna moet met een circa 70% lagere waarde rekening worden gehouden (hfdst. 4)

Tabel 5.1: Samenvattend overzicht van de bijdragen van de verschillende stoffen-
aan- en afvoersystemen buiten de bebouwde kom, in kg/ha wegdek, jaar

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Kwas
neerslag	95	25-50	<3	35	3	5	19	
strooizout	<30			<<	<<			
(asfalt)wegdek slijtage			26	2.5	0.1	21	0.6	
VERKEER; banden		?	7	19	4	10	75	2
remmen			0.1	2.5	<<	1		
lekverliezen				<<	<<	<1	1	2
benzine			49	26	92	51	5	4
diesel			17	16	1	13	1.3	
totaal	100%							
verhouding tot gemeten samenstelling	58	100	427	44	88	278	106	29

Tabel 5.2: Indicatieve gevoeligheidstabel. Bijdrage van de stoffer aanvoersystemen aan de runoff per stof in procenten. Daarbij is van de brandstoffen 10% van het verbruik als bijdrage meegerekend, onder aanname dat 90% van de uitlaatgassen verwaait. Hoe de op deze wijze berekende runoffsamenstelling zich verhoudt tot de werkelijk gemeten samenstelling (tabel 4.1) wordt in de laatste kolom procentueel weergegeven. (gemeten samenstelling = 100%)

Bij de bespreking van tabel 5.1 wordt er vanuit gegaan, dat de diverse aannames in de vorige hoofdstukken de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderen.

Uit tabel 5.1 blijkt dan dat de bijdrage van strooizout en van slijtage van remmen nagenoeg verwaarloosbaar is op de stoffenbalans, evenals de bijdrage aan zware metalen ten gevolge van lekverliezen.

Ook blijkt dat vooral de brandstoffen een grote bijdrage leveren aan de belasting van de weg met zware metalen.

Van chroom, lood en nikkel is vrijwel de totale aanvoer van brandstoffen afkomstig.

De percentages die hiervan worden teruggevonden in de runoff bedragen respectievelijk 3.5%, 8% en 5.3%.

Uitgaande van deze getallen, wordt aangenomen dat 90-95% van de stoffen, die vrijkomen met de uitlaatgassen, verwaaien en diffuus de wijdere omgeving belasten.

De hoeveelheden koper en zink die in de runoff worden aangetroffen bedragen respectievelijk 49% en 57%. Voor zink ligt deze waarde hoger dan 10% doordat andere bronnen dan brandstof een belangrijk aandeel vormen in de aanvoer. Voor koper geldt in mindere mate hetzelfde, maar ook de geringe hoeveelheden maken de 49% tot een minder betrouwbaar getal.

Van de stoffen die behalve uit brandstof, ook voor een groot deel worden aangevoerd door neerslag, strooizout, wegdekslijtage, bandenslijtage, remmenslijtage en lekverliezen zal dus hoogstwaarschijnlijk een aanzienlijk kleiner deel verwaaien (spat-verliezen worden hier buiten beschouwing gelaten).

Uitgaande van bovengenoemde aannames (90% van de stoffen in uitlaatgassen verwaaien en 0% van de op overige wijze aangevoerde stoffen) kunnen de in tabel 5.1 gegeven waardes worden gebruikt om de procentuele bijdragen van verschillende aanvoersystemen per stof te berekenen (Tabel 5.2). Ook kan uit deze getallen in tabel 5.1 een model runoff samenstelling berekend worden (10% van brandstoffen bijdrages en 100% andere bijdragen). Deze samenstelling wordt vergeleken met de literatuur runoffsamenstelling uit tabel 4.1. (in procenten, literatuurwaarden zijn op 100% gesteld). De afwijking ten opzichte van 100 geeft aan in hoeverre de samenstelling van runoff kan worden voorspeld met behulp van dit model.

5.3 Evaluatie

Tabel 5.2 geeft de gevoeligheid van het systeem aan: welke stofaanvoersystemen leveren met name een bijdrage aan de verontreiniging van het runoff-water. Conclusies uit de tabellen 5.1 en 5.2 zijn:

- 1) Uit tabel 5.2 blijkt dat de op deze wijze verkregen stoffenbalans (met alle aannames die hiervoor zijn gedaan) een redelijk dekkend beeld geeft.
- 2) Strooizout, slijtage van remmen dragen slechts in zeer geringe mate bij aan de belasting van de runoff met zware metalen. Bijdrage aan zware metalen ten gevolge van lekverliezen zijn zeer gering. (N.B.: Bij de berekening hiervan is echter uitgegaan van metaalgehalten in schone Amerikaanse motorolie en niet in afgewerkte olie).
- 3) Stoffen die door de neerslag in een niet te verwaarlozen hoeveelheid worden aangevoerd zijn arseen (95%) en in mindere mate cadmium (25%), koper (35%) en zink (19%).
- 4) De wegdekslijtage draagt voor een belangrijk deel bij aan de belasting met nikkel- (26%) en chroom- (21%) belasting van de runoff en aan de belasting met (moeilijk afbreekbare) koolwaterstoffen (6%). (N.B. de verwaaiing is op 0% gesteld). Er is bij de stoffenbalans uitgegaan van een asfaltwegdek zonder vliegias als vulstof (tabel 2.2).
- 5) De bandenslijtage draagt voor een belangrijk deel bij aan de belasting met zink (75%), nikkel- (10%) en koper (19%) belasting van de runoff en aan de belasting met (moeilijk afbreekbare) koolwaterstoffen (27%). (N.B. de verwaaiing is op 0% gesteld).
- 6) De lekverliezen (motorolie) dragen voor een belangrijk deel bij aan de belasting van de runoff met koolwaterstoffen.
- 7) Verbranding van benzine draagt voor het grootste deel bij aan de belasting van de runoff met nikkel (51%), chroom (49%) en lood (92%). Verbranding van diesel geeft eveneens een behoorlijke belasting van de runoff met nikkel (13%) en chroom (17%). De belasting van de runoff met koolwaterstoffen ten gevolge van de verbranding van diesel en benzine is 42%. (N.B. er is gesteld dat 90% van de stoffen uit uitlaatgassen verwaaid: dus niet meegerekend).
- 8) De totale berekende aanvoer voor de metalen arseen (58), cadmium (50-100) en koper (31) ligt ruim beneden de 100. Oorzaken hiervan zijn:

arseen: Er waren geen concentraties bekend van arseen in een wegdek; dit zou mogelijk relatief een hoge bijdrage kunnen leveren; met name indien vliegias als vulstof in asfalt wordt gebruikt. Evenzo waren er geen gehalten bekend van arseen in banden, remmen, olie en brandstof.

cadmium: Cadmium komt voor als verontreiniging in zink. Omdat zink in de runoff met name afkomstig is van bandenslijtage, wordt verwacht dat hier eveneens de hoofdbron van cadmium in de runoff moet worden gezocht; analyses waren echter niet voorhanden.

koper: Alhoewel van alle stoffenaanvoersystemen berekeningen konden worden uitgevoerd, met betrekking tot de koperbijdrage, is de totale berekende bijdrage laag. De oorzaak hiervan moet vermoedelijk worden gezocht in de kopergehalten in wegdek, banden en brandstof waarvan is uitgegaan bij de berekeningen. Bij invullen van betere waarden hiervoor zal vermoedelijk een beter beeld worden verkregen.

- 9) Voor chroom (427) en nikkel (278) worden te hoge waarden berekend voor de totale belasting van de runoff. Benzine levert volgens de berekeningen voor deze twee stoffen de grootste bijdrage (respectievelijk 136 en 200 t.o.v. de gemeten runoff samenstelling). De bijdrage van diesel is voor deze stoffen globaal een kwart van de bijdrage van benzine. Vermoedelijk zijn de chroom- en nikkelgehalten in benzine en diesel uit de Amerikaanse literatuur (1975), waarmee is gerekend, te hoog in vergelijking met de gehalten in Nederlandse brandstof. Aanbeveling: meten van de gehalten aan zware metalen in Nederlandse brandstoffen.
- 10) De berekende gehalten voor koolwaterstoffen (minerale olie; totale berekende aanvoer 299) lijken een heel redelijk beeld te geven van de werkelijkheid. Bedacht moet namelijk worden dat ook een deel van de koolwaterstoffenaanvoer ten gevolge van slijtage van het wegdek, bandenslijtage en lekverliezen zal verwaaien en dat wellicht een wat groter deel van de koolwaterstoffen uit uitlaatgasen zal verwaaien in vergelijking met de metalen (bv. 95% i.p.v. 90%). Geconcludeerd wordt dat een groot deel van de koolwaterstoffen in runoff afkomstig zal zijn van wegdekslijtage, banden en lekkageverliezen. Dit betreft vaak moeilijk afbreekbare organische stoffen.
- 11) Van PAK's waren geen gegevens bekend om berekeningen mee uit te voeren.

6. VERGELIJKING VAN WATERKWALITEITSNORMEN MET RUNOFFWATERKWALITEIT

6.1 Vergelijking runoff-waterkwaliteit met waterkwaliteitsnormen

In tabel 6.1 worden Nederlandse en de gemiddelde Duitse concentraties aan stoffen in de runoff gegeven (uit bijlage: ta I.1).

Eveneens worden de gemeten piekconcentraties (uit het Nederland onderzoek) gegeven.

De concentraties worden vergeleken met de zogenaamde A-, B- en waarden voor grondwater uit de Leidraad Bodemsanering (zie bijl IV), opgesteld door het Ministerie VROM, ter bescherming van bodem- en grondwaterkwaliteit.

De gehalten worden vergeleken met de basiskwaliteit richtlijn voor oppervlaktewater uit het IMP-water 1985 - 1989. (Indicati meerjarenprogramma water, VROM.).

	Oldenkamp en Van der Ven, '86, runoff-water		Gemiddelde Duitse waarden, runoff-water (zie bijlage I.1)	ontwerp-norm IMP-water 1985-1989 basiskwaliteit
	mediane waarden	piek-waarden		
pH	6,8		6,6-7,4	6,5-9
Cl mg/l	6		66	200
SO ₄ ,,	10		39	100
As ug/l	1,9	8,5	1,8	50**
Cd ,,	1,6*	6,5**	5,8**	2,5**
Cu ,,	49*	175**	72**	50**
Cr ,,	10	48*	11	50**
Ni ,,	10	43*	33*	50**
Pb ,,	340***	1300***	280***	50**
Zn ,,	250**	720**	330**	200**
Min.olie mg/l	4,0***	16***	5,3***	

* A-waarde

** B-waarde

*** C-waarde

Tabel 6.1: Tabel runoff-waterkwaliteit basiskwaliteit IMP-water en A-, B- en C-waarden voor grondwater Leidraad Bodersanering

Uit de tabel blijken een aantal stoffen, zoals minerale oliën, lood, zink, koper en cadmium, en in mindere mate nikkel en chroom verhoogde concentraties te bezitten. Van PAK's worden in de literatuur onvoldoende gegevens aangetroffen om deze te kunnen vergelijken.

6.2 Evaluatie

De runoff-concentraties bestaan uit zwevende en opgeloste stoffen. De basiskwaliteit in het IMP-water gaat uit van gefiltreerd water, dus alleen opgeloste stoffen. Bovendien moet de kwaliteit en functie van het oppervlaktewater in de beschouwing worden betrokken.

Toetsingscriteria voor de kwaliteit van de bodem worden ontwikkeld.

Directe toetsing van de runoff-kwaliteit aan de richtwaarden uit de Leidraad Bodemsanering is ook niet mogelijk, doordat geen rekening is gehouden met de verschillen in opgeloste en zwevende stoffen en evenmin met optredende bodemprocessen die de kwaliteit van het percolaat sterk beïnvloeden.

Uit hoofdstuk 4.3 blijkt dat een groot gedeelte van de verontreiniging aan slibdeeltjes is gebonden.

Het is mogelijk het water te zuiveren van de zwevende deeltjes.

Dit kan door middel van bezinkbassins (zie ook hfdst. 2.2.2) en/of door middel van filtratie over bijvoorbeeld een zandfilterbed.

Literatuur- en praktijkonderzoek naar de effectiviteit en de dimensionering hiervan wordt aanbevolen.

7. VOORSPELLENDE BEREKENINGEN TOEKOMSTIGE BODEM- EN GRONDWATERKwaliteit

7.1 Inleiding

Voorspellende berekeningen worden uitgevoerd met betrekking tot in de loop der jaren te verwachten concentraties aan een aantal stoffen in de bovenste 20 cm slib uit een bezinkslootje naast weg waarop runoff-water wordt geloosd en van de concentraties percolatie-water dat met het slib in evenwicht is.

Eveneens wordt berekend wat de verwachte concentraties in grondwater zullen zijn bij percolatie van het runoff-water door een cm hoge bodemkolom (= wegberm). Hierbij is de bodemkolom onderverdeeld in 5 schijven van 20 cm. Voor elke schijf kan naar keuze bodemtype, een Kd-waarde (Kd-waarde = verdelingscoëfficiënt concentratie bodem/concentratie bodemvocht) en dergelijke worden ingevoerd en voor elke schijf wordt het concentratieverloop van stoffen in bodem en grondwater als functie van de tijd berekend. Voor een schematische beschrijving van de wijze van berekening wordt verwezen naar bijlage III, waar een stroomschema van computerprogramma wordt besproken.

De berekeningen zullen worden uitgevoerd voor een berm met bovenlaag van humeuze zandgrond (0-20 cm) met daaronder een zavelgrond (20-80 cm).

Deze types wegberm worden in de praktijk ook aangetroffen. Eveneens zijn berekeningen uitgevoerd, waarbij is uitgegaan van zavelgrond (0-20 cm) met daaronder een zandgrond (20-80 cm). Een zavelgrond heeft namelijk in het algemeen (veel) hogere Kd-waarden voor de verschillende stoffen. Op deze wijze wordt invloed van verschillende Kd-waarden op te verwachten concentraties in bodem en grondwater weergegeven. Bovendien benaderen werkelijke Kd-waarden voor een wegberm in de praktijk wellicht hogere Kd-waarden voor een zavelgrond, omdat een groot deel van de op de weg aanwezige stoffen afspoelt gebonden aan fijne (slib) deeltjes.

De berekeningen voor de 20 cm zavelgrond (concentraties in bodem en in het hieruit tredende percolaat op 20 cm diepte, als functie van de tijd) worden eveneens beschouwd als zijnde voorspellende berekeningen om de situatie in een bezinksloot naast weg te simuleren. In een bezinksloot blijven veel stoffen achter gebonden aan slib.

Om een schatting te maken, wordt de Kd-waarde voor een zavelgrond gehanteerd voor een berekening ten aanzien van een bermsloot. Echter met name de biologische omzettingen en het organisch stofgehalte in bermslootbodems maken deze vertaalslag naar de kwaliteit van het bermslootslib twijfelachtig. Het betreft hier dan een globale indicatieve benadering.

7.2 Aannames

De voorspellende berekeningen worden uitgevoerd voor een helft van een vierbaansweg, waarbij wordt uitgegaan van de volgende aannames:

- De breedte van de weghelft is 11 meter (2 rijbanen à 3,5 meter, 1 vluchtstrook à 3 meter en een redresseerstrook en wegstrepen.
- De gemiddelde jaarlijkse regenval is 760 mm/jaar.
- Het ontvangende bezinkslootje of de ontvangende wegberm heeft een breedte van 1 meter. Hierin komt al het runoff-water plus de neerslag op deze 1 meter brede strook. (In de praktijk zal er in het algemeen sprake zijn van een bredere sloot en/of berm.
- De runoff-coëfficiënt is 0,9 (d.w.z. er stroomt 90% van het regenwater in de berm direkt naast de weg; de rest gaat verloren als spatwater en door verwaaiing).
- De berekeningen worden uitgevoerd voor een humeuze zandgrond van 20 cm dik (4,9% organische stof, 1,5% klei) en voor een 20 cm dikke zavelgrond (2,1% organische stof en 18% klei), beiden op een 80 cm dikke zandgrond.
- Berekeningen voor een bezinksloot met een 20 cm dikke sliblaag zijn vergelijkbaar met de berekeningen voor een 20 cm zavelgrond (zonder een daaronder aanwezige zandgrond).
- Er treedt 33% infiltratie met runoff-water op (met alle daarin opgeloste stoffen). De rest van het water verdampt uit de berm(sloot)(evaporatie).

De berekeningen worden uitgevoerd voor de volgende stoffen in runoff-water: cadmium, koper, lood, zink en minerale olie. Enkele parameters die per bodemtype variëren en die bij de computerberekeningen zijn gebruikt, worden in tabel 7.1 weergegeven (naar Tukkers, '85).

	humusarme zandgrond	humeuze zandgrond	zavel
porositeit (%)	35	47	51
veldvochtig volu- megewicht (ton/m ³)	1,7	1,8	1,7
<u>achtergrondcon- centraties voor:</u> (in mg/kg)			
arseen	3,3	5,4	8,5
cadmium	0,11	0,31	0,26
koper	2,0	2,8	12
lood	11	24	54
zink	16	18	86
min. olie	50*	50*	50*
<u>Kd-waarden voor:</u>			
arseen			3550
cadmium	500	1400	1200
koper	400	600	2500
lood	3550	7750	17400
zink	450	550	2500
min. olie	39	195	78

Tabel 7.1: Achtergrondconcentraties, evenwichtsverdelingscoëfficiënten en enkele veld-fysische parameters voor een humusarme zandgrond, een humeuze zandgrond en een zavelgrond (naar Tukkers, '85)

* Hiervoor waren geen waarden bekend. De aangenomen waarde is 0, A-waarde.

7.3 Berekeningen

Uit de gegevens in hoofdstuk 7.2 wordt berekend dat er van 1 weglengte (11 m breed) in totaal zal afstromen: $11 \text{ m} \times 1000 \text{ m} \times 0,76 \text{ m/jr} = 8360 \text{ m}^3/\text{jr} \times 0,9 = 7500 \text{ m}^3/\text{jr}$ (de factor 0,9 is runoff-coëfficiënt).

Dit komt in een 1 m brede wegberm of bezinksloot met een oppervlakte van 1000 m^2 terecht.

Uitgaande van een afspoeling van koper van $0,53 \text{ kg/ha}$ wegdek, (zie tabel 4.1), wordt berekend dat de koperconcentratie in runoff in dit voorbeeld dan zal zijn: $0,37 \times 1,1$ (11 m breed = 1 ha) = $0,41 \text{ kg Cu} / 7500 \text{ m}^3 \text{ water} = 54 \text{ ug Cu/ltr}$.

Omdat is aangenomen dat 2/3 deel van het infiltrerende water verdampst, zal de koperconcentratie in het infiltrerende water in werkelijkheid ongeveer zijn:

$$0,41 \text{ kg Cu} / \frac{(7500 \text{ m}^3 + 760 \text{ m}^3)}{3} = 149 \text{ ug/l}$$

(De regenval van 760 mm/jr op 1000 m² berm of sloot = 760 m³ is hierbij meegerekend).

Analoog: Een cadmiumafspoeling van 0,01 kg/ha wegdek, jr geeft een concentratie van 1.5 ug/l in de runoff.

Een loodafspoeling van 2.6 kg/ha, jr geeft een concentratie van 383 ug/l in de runoff.

Een minerale olie-afspoeling van 30 kg/ha, jr geeft een concentratie van 4395 ug/l in de runoff.

De computerberekeningen zijn uitgevoerd, uitgaande van bovengenoemde gehalten in het infiltratie-water voor een humeuze zandgrond en een zavelgrond, beiden van 20 cm dikte met daaronder 80 cm zandgrond. De belastingsduur is 100 jaar; de bodemgehalten en percolaatgehalten zijn per jaar berekend (zie ook hoofdstuk 7.1). In bijlage V worden de berekeningsresultaten grafisch weergegeven.

7.4 Bespreking van de voorspellende berekeningen

In bijlage V (tabellen V.1 t/m V.10) worden de resultaten van de voorspellende berekeningen grafisch weergegeven.

De berekende gehalten in de bovenste 20 cm bodem (voor een humeuze zandgrond en voor een zavelgrond) zijn getoetst aan de zogenaamde A- en B-toetsingswaarden van het Ministerie VROM (bijlage IV) evenals de bijbehorende percolaat-concentraties vergelijkbaar zijn met infiltrerend water in een bermsloot dat in evenwicht is met het hierin aanwezige slib.

De berekende percolaat-concentraties op 100 cm diepte (bijlage V) worden beschouwd als concentraties van percolaatwater dat het grondwater bereikt. Deze worden eveneens getoetst aan de A- en B-waarden.

De voorspellende berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode van 100 jaar. In tabel 7.2 wordt aangegeven na hoeveel jaren de A- of B-waarde volgens de voorspellende berekeningen wordt bereikt voor de 20 cm dikke bovengrond, het percolaat hieruit en voor het percolaat op 100 cm diepte (=grondwater). Deze gegevens zijn afgelezen uit de grafieken uit bijlage V.

	20 cm humeuze zandgrond		20 cm humeuze zandgrond + 80 cm zandgrond	20 cm zavelgrond		20 cm : velgrot 80 cm : grond
	BODEM	PERCOLAAT	GRONDWATER	BODEM	PERCOLAAT	GRONDWATER
Cd: >A	6 jr	12 jr	>100 jr	6 jr	8 jr	>100 jr
>B	60 jr	38 jr	>100 jr	50 jr	33 jr	>100 jr
Cu: >A	22 jr	5 jr	96 jr	12 jr	10 jr	>100 jr
>B	72 jr	10 jr	>100 jr	29 jr	37 jr	>100 jr
*Pb: >A	8 jr	6 jr	>100 jr	0 jr	12 jr	>100 jr
>B	50 jr	18 jr	>100 jr	18 jr	36 jr	>100 jr
Zn: >A	14 jr	3 jr	63 jr	8 jr	4 jr	>100 jr
>B	82 jr	8 jr	>100 jr	28 jr	26 jr	>100 jr
M.olie >A	1 jr	<1 jr	<1 jr	1 jr	<1 jr	<1 jr
>B	8 jr	<1 jr	<1 jr	8 jr	<1 jr	<1 jr

* Aangezien de looduitworp per 1 oktober 1986 met circa 70% is gereduceerd ten opzichte van voorgaande jaren, zijn de voorspelling voor lood ongeveer een factor 3 te onvoordelig berekend.

Tabel 7.2: Aantal jaren waarna volgens de voorspellende berekeningen de A- of B-waarde wordt bereikt voor een bovengrond (0-20 cm) van humeus zand of zavel; voor hieruit tredende percolaat en voor het percolaat op 1 cm diepte (=grondwater). (Volgens bijlagen V.1 t V.12), uitgaande van achtergrondconcentraties uit tab 7.1.

De belangrijkste verwachtingen voor bodem en grondwater uitgaande van tabel 7.2 zijn:

bodem zware metalen:

Voor een humeuze zandgrond wordt berekend dat de A-waarde voor bovengrond (0-20 cm) voor cadmium, lood en zink binnen enkele jaren (6-14 jaren) zal worden overschreden (bij de gekozen belasting voor een 11 m brede weg).

Voor een zavelgrond wordt globaal hetzelfde berekend, met uitzondering van lood; het loodgehalte is reeds groter dan de A-waarde. Berekend wordt dat overschrijding van de B-waarde voor de bovenlaag van 20 cm van een humeuze zandgrond zal plaatsvinden 50-70 jaar voor lood, cadmium en koper.

Voor de bovenste 20 cm van een zavelgrond wordt overschrijding van de B-waarde verwacht binnen 18 jaar voor lood en binnen 30-50 jaar voor cadmium, koper en zink.

Uit bijlage V.1 t/m V.4 blijkt dat de A-waarde voor de laag van 20-40 cm gelegen onder een humeuze zandgrond na ongeveer 60 jaar zal worden overschreden voor lood (onvoordelige berekening!) en na circa 80 jaar voor cadmium.

De B-waarde wordt niet binnen 100 jaar overschreden.

Uit bijlage V.6 t/m V.9 blijkt dat de A-waarde voor de laag van 20-40 cm gelegen onder een zavelgrond na ongeveer 60 jaar zal worden overschreden voor cadmium en na ongeveer 70 jaar voor lood. De B-waarde wordt niet binnen 100 jaar overschreden.

7.5 Evaluatie voorspellende berekeningen

7.5.1 Algemeen

De voorspellende berekeningen zijn uitgevoerd voor een 11 meter brede weg (rijksweg) met de daarbij behorende totaal-concentraties.

Voor smallere respectievelijk bredere wegen is de bodembelasting met stoffen uit de runoff recht evenredig met de breedte van de weg. Aangezien er bij bijvoorbeeld een bredere weg ook meer spoelwater (infiltratie-water) is, zullen de uiteindelijke bodem- en grondwaterconcentraties echter niet geheel evenredig toe- of afnemen met de breedte van een weg. In principe moeten deze berekeningen derhalve voor elke wegbreedte afzonderlijk worden uitgevoerd.

Er is bij de berekeningen uitgegaan van de belasting van een één meter brede berm of bermsloot. Dit is waarschijnlijk eveneens een vrij "streng" aanname, waardoor in de praktijk de gemeten gehalten kunnen meevallen bij vergelijking met de voorspellende berekeningen.

Gezien het feit dat het loodgehalte in benzine is teruggebracht van 0,36 g/l naar 0,15 g/l (norm per 1 oktober 1986) en het feit dat meer auto's op loodvrije benzine gaan rijden, wordt verwacht dat de loodemissie ten gevolge van verkeer met ongeveer 70% zal afnemen ten opzichte van 1985 (IMP-Milieubeheer 1986-1990; Scheele, 1986).

De bodememissie zal door andere maatregelen tegen het jaar 2000 kunnen afnemen tot 5% van 1985 (schonere motoren, betere verbranding LPG, etc.).

De berekeningen voor lood zijn voor de huidige situatie dus circa een factor 3 te onvoordelig uitgevoerd.

De voorspellende berekeningen voor minerale olie zijn niet betrouwbaar (blz. 52).

7.5.2 Bodem

Uit de berekeningen blijkt dat de bovengrond (0-20 cm humeuze zandgrond of zavelgrond) op betrekkelijk korte termijn wordt verontreinigd met zware metalen tot boven de A-waarde en op de wat langere termijn (50 jr voor humeuze zandgrond; 30-50 jr voor een zavelgrond) tot boven de B-waarde.

In de onderliggende bodemlaag (20-40 cm) kan de A-waarde worden bereikt na ±60 jr voor lood en na ±80 jr voor cadmium, indien bovengrond een humeuze zandgrond is en na ±40 jr voor cadmium indien de bovenlaag een zavelgrond is.

Bovenstaande verwachte concentrering in de bovengrond tot boven B-waarde kan worden voorkomen.

Dit is mogelijk door aanleg van een rioleringsysteem langs weg.

Indien er gekozen wordt voor het weglaten van een rioleringsysteem dan zal bij wegen, die gedurende meerdere jaren zullen worden gebruikt, aandacht moeten worden besteed aan de bodemkwaliteit van de bovenste laag van de wegberm.

Zonodig zal deze bovenlaag moeten worden gesaneerd indien bijvoorbeeld werkzaamheden plaatsvinden als het afgraven van een bestaande weg.

minerale olie:

De berekende waarden voor olie zijn slechts indicatief, omdat geen rekening is gehouden met afbraakprocessen. Voor berekeningen aan minerale olie moeten eveneens betrouwbare waarden voor de afbraakprocessen worden ingevoerd in het computermodel, even als betrouwbare Kd-waarden. Deze gegevens zijn echter niet bekend.

Grondwater op 100 cm-mv

zware metalen:

Uit tabel 7.2 blijkt dat wordt verwacht dat de A-waarde voor zink in grondwater na 63 jaar kan worden bereikt indien de topplaat (20cm) bestaat uit een humeuze zandgrond. Indien de topplaat bestaat uit een zavelgrond dan wordt er binnen 100 jaar geen overschrijding van de A-waarde voor grondwater verwacht ten gevolge van activiteit verkeer.

minerale olie:

Zie opmerkingen hierboven.

Percolatiewater uit 20 cm bodem ("bezinksloot water")

zware metalen:

Uit zowel de berekeningen voor een humeuze zandgrond als voor een zavelgrond (tabel 7.2) blijkt dat de A-waarde voor zware metalen in het "percolaatwater" binnen 5 à 10 jaar kan worden bereikt.

De B-waarde in het percolaat van een humeuze zandgrond kan voor koper en zink binnen 8 à 10 jaar worden bereikt.

Voor een zavelgrond wordt het bereiken van de B-waarde in het percolaat verwacht na circa 30 jaar voor alle zware metalen.

minerale olie:

Zie opmerkingen hiervoor (onder bespreking van de bodem).

In dit kader lijkt het zinvol om voorspellende berekeningen uit te voeren waarbij een inschatting wordt gemaakt van de bodemkwaliteit van een wegberm als functie van de breedte van de weg, de bodemsoort en het aantal jaren dat de weg in gebruik is.

Deze berekeningen zullen moeten worden onderbouwd door praktijkonderzoek.

7.5.3 Grondwater

Overschrijding van de A-waarde voor zware metalen voor grondwater ten gevolge van de activiteit verkeer wordt in de praktijk niet op korte termijn (50 jr) verwacht. Zelfs als de bovengrond zou bestaan uit zandgrond, dan worden op korte termijn nog geen verhoogde concentraties (A-waarde) in het grondwater verwacht (11 m brede weg; veel infiltratie-water).

Aangezien de zware metalen grotendeels gebonden zijn aan van de weg afspoelende fijne (slib-)deeltjes moeten voorspellende berekeningen voor een zandgrond eigenlijk worden uitgevoerd met hogere Kd-waarden dan voor zandgrond gebruikelijk is. Met andere woorden de berekeningen voor grondwater onder een zandgrond zijn zelfs "onvoordelig" uitgevoerd. Een en ander wordt ook onderschreven door een in 1986 uitgevoerd praktijkonderzoek voor Provinciale Waterstaat Zuid-Holland inzake de bodem- en grondwaterkwaliteit van zandgronden naast wegen en parkeerplaatsen (Raadgevend Bureau Tukkers, 1986: 'Onderzoek naar de invloed van parkeerplaatsen en wegen op de kwaliteit van bodem en grondwater in enkele waterwingebieden in Zuid-Holland').

7.5.4 Bezinksloot

De verwachte bodemconcentraties in de bezinksloot zijn zoals aangegeven in hoofdstuk 7.5.2 onder zavelgrond. Het slib in de bezinksloot wordt namelijk vergelijkbaar gesteld qua adsorptiegedrag voor zware metalen met een zavelgrond.

In hoofdstuk 7.4 wordt de verwachting uitgesproken dat de A-waarde voor het water dat met het slib in evenwicht is, kan worden bereikt binnen 5 à 10 jaar voor zware metalen.

Verwacht wordt dat deze concentraties minder snel zullen worden bereikt dan zou worden verwacht uit de voorspellende berekeningen, aangezien bezinksloten regelmatig geschoond worden, waarbij een aanzienlijk deel van de zware metalen uit de sloot, samen met het slib, zullen worden verwijderd.

8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de inleiding (hfdst. 1) wordt een schematische weergave van stoffenbalans van een weg gegeven. In dit rapport wordt aangegeven in welke mate stoffen door de verschillende deelsystemen, zo aangegeven in de inleiding, worden aan- en afgevoerd. Hierbij zijn verschillende aannames gedaan. Indien bepaalde conclusies op aanname berusten, dan worden deze aannames bij de conclusie vermeld.

8.1 Conclusies

- 1) DE RUNOFF-HOEVEELHEDEN AAN VERONTREINIGENDE STOFFEN, UITGEDRUKT KG/HA WEGDEK, JAAR BLIJVEN VRIJWEL CONSTANT BOVEN EEN BEPAALD MINIMUM VERKEERSINTENSITEIT. DEZE MINIMALE VERKEERSINTENSITEIT BEDRAAGT MINDER DAN 3200 AUTO'S PER DAG.
De runoff-hoeveelheden worden bepaald door de hoeveelheid stof verontreinigingen die op de weg zijn geaccumuleerd en tijd regenval neerslaan. Dat deze hoeveelheid binnen redelijk korte tijd (enkele dagen, waarschijnlijk afhankelijk van het vuilbergvermogen van de weg) reeds een maximaal niveau bereikt, wordt deze studie aannemelijk gemaakt. Dit wordt ondersteund door omgerekende runoff-concentraties uit de literatuur. De basis van deze conclusie is relatief smal gezien het aantal onderzoeken, zonder voorbehoud vergelijkbaar is.
- 2) In de literatuur worden runoff-concentraties meestal in mg/l gegeven. Hiermee worden vrijwel altijd de totaalgehalten (dus de opgeloste plus de aan zwevende deeltjes gebonden fractie) bedoeld. Alhoewel in de tekst van de literatuur niet duidelijk aangegeven wordt, vrijwel altijd het totaalgehalte weergegeven, dus de opgeloste plus de aan zwevende deeltjes gebonden fractie (pers. mededelingen diverse auteurs).
- 3) In deze studie is vooral gekeken naar zware metalen, minerale oliën en PAK's. Deze stoffen blijken voornamelijk gebonden aan de zwevende fractie (ca. 50 - 98%, afhankelijk van de soort stof, zie hfdst. 4.3). Chloride is buiten beschouwing gelaten.
- 4) In de verschillende literatuurreferenties zijn de stoffenconcentraties in de runoff in mg/l of in mg/voertuig, km, jaar onderling vaak slecht vergelijkbaar.
Omrekenen van de runoff-concentraties naar afspoelhoeveelheden kg/ha wegdek, jaar leveren wel goed vergelijkbare getallen op. In tabel 4.1 worden de gehalten gegeven voor de meest voorkomende stoffen in de runoff. Gehalten uit de Nederlandse literatuur (cijfer op jaarbasis) komen vrij goed overeen met gehalten uit de buitenlandse literatuur, ondanks de vaak grote spreiding die wordt aangetroffen als analyses van momentopnames worden vergeleken.
- 5) Er is een indicatieve stoffenbalans samengesteld, die de bijdrage aangeeft van de verschillende stoffenaanvoersystemen ten opzichte van de stoffenafvoer met de runoff. Aangenomen is dat 90% van de stoffen uit uitlaatgassen verwaait, en niets van de op overige wegen.

zen aangevoerde stoffen. Spatverliezen zijn op 0% gesteld. De stoffenbalans sluit niet geheel. Verschillen in hoeveelheid berekende aanvoer en gemeten afvoer bedragen maximaal een factor 4. De nauwkeurigheid kan worden vergroot indien de getallen, waarmee bij de diverse aannames is gerekend, beter bekend zouden zijn voor de Nederlandse situatie en indien de witte plekken in tabel 5.2 zouden worden ingevuld.

Uit de stoffenbalans (of indicatieve gevoeligheidstabel) blijkt duidelijk welke aanvoersystemen de grootste verontreiniging van de runoff geven.

- 5.1) De grootste hoeveelheid aan zware metalen in de runoff is afkomstig uit uitlaatgassen ten gevolge van verbranding van benzine en in mindere mate diesel (hfdst. 5). Dit ondanks het feit dat bij de berekeningen rekening is gehouden met 90% verwaaiing van de uitlaatgassen.
- 5.2) Aanvoer van stoffen met neerslag is voor vrijwel alle zware metalen niet verwaarloosbaar. De indicatie is voor Arseen = 95%; Cadmium = 25-50%; Koper = 35%; Zink = 19%; Nikkel = 5% en Lood = 3%.
- 5.3) Wegdekslijtage draagt voor een belangrijk deel bij aan de belasting van de runoff met nikkel, chroom en moeilijk afbreekbare koolwaterstoffen (indicaties respectievelijk 26, 21 en 6). Deze berekening is uitgevoerd voor een asfaltweg met als belangrijkste aannames een slijtage van 0,04 mm/jaar en 25% van de totale wegoppervlakte als rijspoor-oppervlak (zie hfdst 2.2.1). Indien asfalt met vulstof (bv. vliegas) wordt gebruikt, dan dient de bijdrage van de vulstof aan de belasting van de runoff met zware metalen eveneens te worden meeberekend. Uitgaande van dezelfde aannames wordt voor betonwegen berekend dat de slijtage-hoeveelheden aan zware metalen in dezelfde orde van grootte liggen. De bijdrage aan koolwaterstoffen uit beton is gering.
- 5.4) Bandenslijtage draagt voor een belangrijk deel bij aan zowel de zink-, koper-, chroom- en nikkelbelasting van de runoff als aan de belasting met moeilijk afbreekbare koolwaterstoffen. Ervan uitgaande dat de bij de berekeningen gebruikte concentraties aan metalen in banden juist waren, worden de volgende indicaties gevonden: zink - 75%; koper - 19% nikkel - 10%; chroom - 7% en min. olie - 27%. Hierbij is geen rekening gehouden met de mogelijke verwaaiing van het bandenslijtsel.
- 5.5) Lekverliezen dragen waarschijnlijk voor een belangrijk deel bij aan de belasting van de runoff met koolwaterstoffen. De aanvoer van zware metalen ten gevolge van lekverliezen is relatief gering (gebaseerd op gehalten in nieuwe olie).
- 5.6) Strooizout en slijtage van remmen dragen in zeer geringe mate bij aan de belasting van de runoff met zware metalen (hfdst. 5.2) Aan de belasting met chloride is in dit onderzoek geen aandacht besteed. Indien wordt overgeschakeld op de "natte strooimethode" zal de belasting met zware metalen met een factor vijf toenemen.

De bijdrage aan de zware metalen in de runoff is dan echter nog steeds relatief gering.

- 6) De in de literatuur geconstateerde verhoogde concentraties in runoff bij asfaltwegen ten opzichte van betonwegen moet worden toegeschreven aan verschillen in chemische samenstelling, maar waarschijnlijk aan verschillen in ruwheid (dus vuilberingsvermogen) van het wegdek. Slecht onderhouden wegen geven verhoogde runoffconcentraties, omdat hierop meer straatvuil achterblijft.
- 7) Straatvuil hoopt zich op binnen de eerste 0,5 m vanaf de rand van een weg bij een deugdelijke wegrand (hfdst. 2.2.2). Deze conclusie is gebaseerd op onderzoek in stedelijke gebieden.
- 8) De bijdrage van vluchtstroken aan de stoffenbelasting van runoff is niet verwaarloosbaar; vluchtstroken zijn vermoedelijk vergelijkbaar met een normaal stuk weg (hfdst. 4), omdat ook hier depositie plaatsvindt. Hoewel deze depositie wat minder is dan op de weg, is ook de verwaaiing door turbulentie minder. Gemiddeld zal toch het maximale verontreinigingsniveau in relatie staan met het verhard oppervlak van de bijbehorende weg.
- 9) Reinigen van wegen door middel van vegen heeft alleen zin indien de veegfrequentie voldoende hoog is (enkele keren per week). Het netto rendement van circa 50% met betrekking tot de vuilverwijring kan dan wellicht worden gehaald. Vegen lijkt voor rijkswegen niet interessant.
- 10) Een relatie tussen het vrachtwagen percentage of de verkeerssnelheid en een bepaalde parameter in de runoff is in de literatuur niet aangetoond. De gevonden gegevens waren onvoldoende voor een statistische analyse.
- 11) De hoeveelheid water die op een grotere afstand dan 1 à 2 m na de wegverharding in de berm terecht komt door wegspatting wordt geschat op 5 à 10% van de runoff (hfdst. 3.4). Onderzoek wenselijk.
- 12) Er is geen significante correlatie gevonden tussen de runoff samenstelling en het jaargetijde voor de onderzochte stoffen.
- 13) Van de PAK's waren onvoldoende gegevens bekend om hierop definitieve uitspraken te kunnen baseren. Wel werd uit de literatuur duidelijk dat PAK's in opgeloste vorm slechts in zeer geringe concentratie worden aangetroffen in de runoff. (PAK's zijn in het algemeen hydrofoob).
- 14) Aandachtstoffen in verband met de bedreiging van oppervlaktewaterkwaliteit en bodemkwaliteit door verontreinigingen in runoff van wegen zijn minerale olie, lood, zink, koper, cadmium en in mindere mate nikkel en chroom. Directe toetsing aan IMP-normen of bodemkwaliteitsrichtlijnen is echter niet mogelijk.

- 15) Voorspellende berekeningen zijn uitgevoerd met betrekking tot de verwachte bodem- en grondwaterkwaliteit bij infiltratie van runoff in een berm of lozing op een bermsloot (hfdst. 7). Aannames zijn onder andere een 11 m brede weg inclusief vluchtstrook, 760 mm neerslag per jaar en 66% evaporatie. De berekeningen houden geen rekening met verlaagde lood-emissies na 1984.
- 15.1) De A-waarde uit de Leidraad Bodemsanering voor de bovengrond (20 cm humeus zand of zavel) zal binnen enkele jaren voor cadmium, lood en zink worden overschreden (Tabel 7.2). De B-waarde van de bovenste 20 cm van een zavelgrond zal binnen 30 tot 50 jaar worden overschreden, en van een humeuze zandgrond binnen 50 tot 70 jaar (geen rekening gehouden met de extra depositie in deze strook ten gevolge van spat en verwaaiing). De B-waarde voor de onderliggende laag (20-40 cm) wordt voor de zware metalen niet binnen 100 jaar overschreden.
- 15.2) Het infiltratiewater na percolatie door 100 cm bodem (20 cm humeus zand of zavel en 80 cm zand) zal alleen voor zink met een humeuze zandgrond als toplaag binnen 100 jaar (63) de A-waarde overschrijden. (Geen rekening is gehouden met te verwachten emissie-beperkende maatregelen aan auto's zoals een betere verbranding en de loodgehalte-verlaging van brandstoffen).

8.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

8.2.1 Algemeen onderzoek

- Aanbevolen wordt om conclusie 1) nader te onderzoeken omdat c berust op statistisch gezien te weinig vergelijkbare gegevens
- Vooral de invloed van het vuilbergend vermogen van een c bereden weg verdient aandacht. Aanbevolen wordt om te on zoeken of de toch aanwezige verschillen in runoff concentrat tussen de verschillende onderzoeken mogelijk worden veroorza door verschillen in vuilbergend vermogen.
Tevens wordt aanbevolen onderzoek te verrichten naar de rur samenstelling van asfaltwegen met een meer open structuur.
- Aanbevolen wordt de mogelijk negatieve invloed die een verhoc wegrand (geluidswal, barierconstructies e.d.) kan hebben op runoff concentraties te onderzoeken. Een verhoogde wegrand verwaaiing verhinderen.
- Aanbevolen wordt de runoff-waterkwaliteit bij een verkeersdru van 0 auto's per dag (nulsituatie) voor verschillende soor wegen (asfalt, beton, "open" klinkerweg e.d.) vast te leggen. deze wijze kan de bijdrage door uitloging van het wegdek, ne slag en met de wind meegevoerde deeltjes aan de runoff v exact worden bepaald.
- Aanbevolen wordt om de berekende maximale uitstoot per auto a afspoelbare hoeveelheden van een stof (in mg/ha wegdek, au jaar) te verifiëren. De metingen zullen gedurende minimaal jaar moeten plaatsvinden bij vergelijkbare wegen met een v schillende verkeersintensiteit. De intensiteit moet in ie geval kleiner dan 3000 auto's per dag zijn. (Dit is niet toepassing op rijkswegen.)
- Aanbevolen wordt de voorspellende berekeningen ten aanzien bodem- en grondwaterverontreiniging te verifiëren. Daartoe m ten bij reeds geruime tijd bereden (meer dan 10 jaar) dru wegen (meer dan 3000 auto's per dag), waar de runoff in wegberm infiltreert, bodemonsters op verschillende diep worden genomen evenals grondwatermonsters.
Eveneens wordt aanbevolen om bermslootwater en slib, waa gedurende meerdere jaren runoff is geloosd, te bemonsteren.
- Onderzoek naar verstuiwing/verwaaiing, zowel kwantitatief kwalitatief.

8.2.2 Aanpak bij de bron: Onderzoek naar emissie-beperkende maatregel

- A) De stoffenbalans (tabel 5.1) kan aanzienlijk worden verbet indien de witte plekken in deze balans door middel van metin worden bepaald en indien de gehalten aan zware metalen en kool terstoffen waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd voor de Ned landse situatie worden bepaald .
Hiertoe wordt aanbevolen om de samenstelling en de slijta eigenschappen voor zover van toepassing van de volgende materia uitgebreid te analyseren:
- brandstof; benzine, diesel en L.P.G.
 - wegdek ; beton, asfalt e.d.
 - banden
 - olie uit lekkage
 - strooizout volgens de "natte strooimethode"
 - remmen

Bovenstaande analyse-volgorde wordt aanbevolen. Zodoende worden de voornaamste bronnen (die zo mogelijk het eerste gesaneerd moeten worden) van de verontreiniging van de runoff het eerst geanalyseerd.

Aangegeven zal moeten worden of het technisch mogelijk is om verontreinigingen die in relatief hoge concentraties voorkomen in de uitgangsmaterialen te verlagen, het liefst zonder afbreuk te doen aan de materiaal eigenschappen.

- B) Aanscherpen en uitbreiden van emissie-normen voor uitlaatgassen
Door een betere verbranding en een lager brandstofgebruik kunnen voertuigen voldoen aan scherpere emissie-normen. Aanbevolen wordt om te onderzoeken wat het effect is van de scherpere Amerikaanse emissie-normen op de runoff kwaliteit (zie ook Scheele, '86). Bij emissie-normen voor uitlaatgassen is tot nog toe aandacht besteed aan de uitworp van stikstofoxiden, zwaveloxiden, koolmonoxide, koolwaterstoffen, stofdeeltjes en lood. Aanbevolen wordt om ook onderzoek te verrichten naar de uitworp van andere zware metalen (zie tabel 5.2) en de verschillende koolwaterstoffen.

8.2.3 Onderzoek naar saneringsmaatregelen om bodem en waterverontreiniging te voorkomen

Ten gevolge van de activiteit verkeer zal er altijd een zekere belasting van het wegoppervlak met verontreinigende stoffen plaatsvinden. Nader onderzoek naar maatregelen ter voorkoming van bodem-, grondwater-, of oppervlaktewaterverontreiniging ten gevolge van de activiteit verkeer wordt aanbevolen, zoals:

- Onderzoek naar verwijdering van verontreinigende stoffen gebonden aan slibdeeltjes uit de runoff middels bijvoorbeeld bezinkbassins, infiltratievelden, percolatiebassins, etc.

LITERATUURLIJST

1. Bourcier, D.R. and Hindin, E. 1979.
Lead, Iron, Chromium and Zinc in Road Runoff at Pullman, Washington. In: The Science of the Total Environment, Vol. 12, pp. 202-215.
2. Colwill, D.M., Peters, C.J. and Perry, R., 1984.
Water Quality of Motorway Runoff. TRRL Supplementary Report 82 Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment Department of Transport.
3. Dauber, L., Novak, B., Zobrist, J. and Zürcher, F., 1979
Pollutants in Motorway Stormwater Runoff. Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG).
4. Feenstra, J.F. en van der Most, P.F.J., 1985.
Diffuse bronnen van waterverontreiniging, rapport Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam.
5. Golwer, A. und Schneider, W., 1979.
Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen Spurenstoffen im Gebiet von Strassen.
In: gwf.-Wasser/Abwasser 120, H. 10, pp. 461-467.
6. Golwer, A. und Schneider, W., 1982.
Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Gebiet von Strassen. In: gwf.-Wasser/Abwasser 123, H. 7, pp. 329-342.
7. Grottker, M.
Runoff quality from a street with medium traffic loading. Institut für Wasserwirtschaft, Universität Hannover.
In: "Highway Pollution": Second internat. symp. 7, 11 July 1986. Middlesex Polytechnic and University of Essex.
8. Gupta, M.K., Agnew, R.W., Graber, D., Kreutzberger, W., 1981
Constituents of Highway Runoff Volume IV, Characteristics of Highway Runoff from Operating Highways. Research Report. Report No. FHWA/RD-81/045.
9. Hoffman, E.J., Latimer, J.S., Hunt, C.D., Mills, G.L. and Quinn J.G., 1985.
Stormwater Runoff from Highways. In: Water, Air and Soil Pollution 25, pp. 349-364.
10. Horner, R.R. and Mar, B.W., 1985 .
Assessing the Impacts of Operating Highways on Aquatic Ecosystems In: Transportation Research Record 1017, pp. 47-55.
11. Janssen, J.A., 1985.
Nieuwe richtlijnen natriumstrooien op autosnelwegen begint deze winter. Dienst Weg- en Waterbouwkunde R.W.S. Apeldoorn, gepubliceerd in Land + Water - Nu, nr. 12 (1985).

12. Klein, H., 1982.
Die Beschaffenheit der Niederslagsabflüsse von Autobahnen.
In: Wasserwirtschaft 72, nr. 2, pp. 37-43.
13. Klein, H.
Menge und Beschaffenheit der Regenabflüsse von Autobahnen.
14. Krauth, K., 1979.
Beeinflussung der Gewassergüte durch die Regenabflüsse von Straßen. Niederschrift des 54.
Siedlungswasserwirtschaftlichen Kolloquiums an der Universität
Stuttgart am 2-3-1979.
15. Nelissen, C., 1982.
De verontreiniging van de neerslagafvoer in stedelijke gebieden.
RIJP-rapport. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Rijksdienst
voor de IJsselmeerpolders.
16. Oldenkamp, A. en v.d.Ven, F.H.M., 1986.
Kwaliteit van het afgevoerde water van een hoofdweg in Lelystad.
Werkdocument 1986-4
Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
17. Sartor, J.D. en Boyd, G.B., 1972. Water Pollution Aspects of
Street Surface Contaminants. Environmental Protection Agency Re-
port, EPA-R2-72-081.
18. Scheele, D. juli 1986.
Energieverbruik en emissies in de sector verkeer en vervoer.
Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland Energie Studie
Centrum, ESC-WR-86-10.
19. Scheele, D. en Kroon, P. augustus 1986.
Berekening emissie-scenario's particulier personenvervoer. Stichting
Energieonderzoek Centrum Nederland Energie Studie Centrum
ESC-WR-86-16.
20. Shaheen, D.G., 1975. Contributions of Urban Roadway Usage to Water
Pollution. Report no. EPA-600/2-75-004. Office of Research and
Development U.S. Environmental Protection Agency.
21. TAUW, april 1985.
Laboratoriumonderzoek naar samenstelling en uitloogbaarheid van
diverse wegebouwmaterialen.
Rapportnr. 51014.04 /R002.
22. Yousef, Y.A., Harper, H.H., Wiseman, L.P. and Bateman, J.M., 1985
Consequential Species of Heavy Metals in Highway Runoff. In:
Transportation Research Record 1017 TRB, National Research
Council, Washington D.C., pp. 56-62.
23. Yousef, Y.A., Wanielista, M.P. and Harper, H.H., 1985. Removal of
Highway Contaminants by Roadside Swales. In: Transportation
Research Record 1017, TRB, National Research Council, Washington
D.C., pp. 62-68.

DOORGENOMEN MINDER RELEVANTE LITERATUUR

1. Asplund, R., Mar, B.W. and Ferguson, J.F., 1982.
Total Suspended Solids in Highway Runoff in Washington State.
2. Bedient, P.B., Lambert, J.C. and Springer, N.K., 1980.
Stormwater Pollutant Load-runoff Relationships.
In: Journal WPCF, Vol. 52, No. 9, pp. 2396-2404.
3. Bellinger, E.G., Jones, A.D. and Tinker, J., 1982.
The character and Dispersal of Motorway Runoff Water.
In: Water Pollution Control, 1982., pp. 372 - 387.
4. Borch, Jensen, J.E., 1976.
Runoff from Motorways Passing Open Country or Rural Areas.
Danish Road Directorate, pp. 364 - 383.
5. Brunner, P.G., 1977.
Strassen als Ursachen der Verschmutzung von Regenwasserabflüsse
In: Wassewirtschaft 67, pp. 98-101. A Review.
6. Cathelain, M., Friant, G. et Olie, J.C., 1981.
Les eaux de ruissellement de chaussées autoroutières: Evaluation
des charges de pollution.
In: Bulletin de liaison des laboratoires des pont et chaussées,
No. 116.
7. Ellis, J.B., Revitt, D.M., Harrop, D.O., and Beckwith, P.R., 1986.
The contribution of highway surfaces tot urban stormwater sedi-
ments and metal loadings.
Uit: "Highway Pollution": Second International Symposium 7-11 j
1986.
8. Ellis, J.B., 1986
Pollutional Aspects of Urban Runoff.
In: Desbordes, Marsalek, Torno(ed): Urban Runoff Pollution. Nat
workshop, Montpellier, Springer-Verlag.
9. Van den Enden, A.C.J.M. en Ruijgrok, C.J., 1984.
Milieu-effecten van de auto. Verkeers- en Vervoersgroep TNO.
Hoofdrapport: Integratie.
10. Etudes d'environnement et d'import, SSN 0458-5860. Bulletin de li-
son de l'environnement et du carre de vie-Ministère des transport:
11. Faluhi-Ardahani A., 1983.
Contamination of Environmental Savety 8, pp. 152-161.
12. Gaboury, D.R., Driscoll, E.D. and Sartor, J.D., 1986.
A probabalistic methodology for estimating water quality effects
from highway stormwater runoff.
Uit: Highway Pollution; Second Internat. Symp. 7-11 july 1986.

13. Galloway, J.N., Thornton, J.D., Norton, S.A., Volchok, H.C. and McLean, R.A.N., 1982.
Trace Metals in Atmospheric Deposition: a Review and Assessment.
In: Atmospheric Environment, Vol. 16, No. 17, pp. 1677-1700.
14. Gjessing, E., Lygren, E., Berglind, L., Gulbrandsen, T. and Skaane K., 1984.
Effect of Highway Runoff on Lake Water Quality.
In: The Science of the Total Environment, 33, pp. 245-257.
15. Gjessing, E., Lygren, E., Andersen, S., Berglind, C., Carlberg, G. Efraimsen, H., Kaellqvist, Chemical Characteristics of Moderately Polluted Runoff from Highways.
In: The Science of the Total Environment, 33, pp. 225-232.
16. Golwer, A., 1985.
Qualitätsaspekte der Versickerung.
In: Mitt. Inst. Wasserwirtsch. Hydr. und Landw. Wasserbau, Heft 57, pp. 175 - 195.
17. Golwer, A. und Schneider, W., 1973.
Belastung der Bodens und des unterirdische Wassers durch Strassenverkehr.
In: gwf-Wasser/Abwasser 114, H.4, pp. 154-165.
18. Golwer, A., 1978.
Die auswirkungen von Strassenverkehr auf das Grundwasser.
In: Landesanstalt für Wasser und Abfall des Landes NW.
Kurzbericht von Geologie berrat.
19. Harrison, R.M., 1979.
Toxic Metals in Street and Household Dusts.
The Science of the Total Environment, 11, pp. 89 - 97.
20. Harrison, R.M. and Wilson, S.J., 1985.
The chemical Composition of Highway Drainage Waters III.
Runoff Water Metal Specification Characteristics.
In: The Science of the Total Environment, 43 (1985), pp. 89-102.
21. Harrison, R.M. and Wilson, S.J., 1984.
The chemical Composition of Highway Drainage Waters I.
Major Ions and Selected Trace Metals.
In: The Science of the Total Environment, 143 (1985), pp. 63-77.
22. Harrison, R.M. and Wilson, S.J., 1984.
The Chemical Composition of Highway Drainage Waters II.
Chemical Associations of Metals in het Suspended Sediment.
In: The Science of the total Environment, 43, pp. 79-87.
23. Harrison, R.M., Laxen, D.P.H. and Wilson, S.J., 1981.
Chemical Associations of Lead, Cadmium, Copper and Zinc in Street Dusts and Roadside Soils.
In: Environmental Science & Technology, Vol. 15, No. 11. pp. 1378-1383.
24. Hoffman, E.J., Latimer, J.S., Hunt, C.D., Mills, G.C. and Quinn,

- J.G., 1984.
Stormwater Runoff from Highways.
In: Water, Air and Soil Pollution 25 (1985), pp. 349-364.
25. Horner, R.R. and Mar, B.W., 1985.
Assessing the Impacts of Operating Highways on Aquatic Ecosystems.
In: Transportation Research Record 1017, pp. 47-55.
 26. Horner, R.R. and Mar, B.W., 1983.
Guide for Assessing Water-Quality Impacts of Highway Operations and Maintenance.
In: Transportation Research Record 948, pp. 31-40.
 27. Hvited-Jacobsen, T., Yousef, Y.A., Wanielista, M.P. and Pearce D.B., 1984.
Fate of Phosphorus and Nitrogen in Ponds Receiving Highway Runoff.
In: The Science of the Total Environment, 33, pp. 259-270.
 28. Johnston, W.R. and Harrison, R. and Harrison, R.M., 1984.
Deposition of Metallic and Organic Pollutants alongside the M6 Motorway.
In: The Science of the Total Environment, 33, pp. 119-127.
 29. Jones, A.D. and Tinker, J.A., 1984.
Quantified Appraisal of Pollutants Dispersing from Road Surface by Airborne Mechanisms.
In: The Science of the Total Environment, 33, pp. 193-201.
 30. Kerri, K.D., Racon, J.A., 1984.
Forecasting Pollutants Loads from Highway Runoff.
In: Transportation Research Record 1017, pp. 39-46.
 31. Kobriger, N.P., Meinholz, T.L. Gupta, M.K. and Agnew, R.W., 1984.
Constituents of Highway Runoff Volume III, Predictive Procedure for determining Pollution Characteristics in Highway Runoff.
Research Report. Report No. FHWA/RD-81/044.
 32. Laxen, D.P.H. and Harrison, R.M., 1977.
The Highway as a Source of Water Pollution: an Appraisal with Heavy Metal Lead.
In: Water Research, Vol. 11, pp. 1-11.
 33. Lord, B.N., 1986.
Nonpoint source pollution from highway stormwater runoff.
In: Highway Pollution; Second Internat. Symp. 7-11 July 1986.
 34. Lygren, E., Gjessing, E. and Berglind, C., 1984.
Pollution Transport from a Highway.
In: The Science of the Total Environment, 33, pp. 147-159.
 35. Maestri, B. and Lord, B.N., 1986.
Guide for mitigation of highway stormwater runoff pollution.
In: Highway Pollution; Second Internat. Symp. 7-11 July 1986.
 36. v.d. Meent, D., van Oosterwijk, J. en Aldenburg, T., 1984.

- RID-VEWIN. Meetnet Regenwater 1978-1982, deel 1.
Samenvatting en statistische bewerking van de meetresultaten.
37. v.d. Meent, D., van Oosterwijk, J. en Aldenburg, T., 1984.
RID-VEWIN. Meetnet Regenwater 1978-1982, deel 1a.
De meetgrens.
Bijlagen bij ECOWAD-84-01.
 38. Pope, W., Young, R.J. and Perry, R., ?
Correlations of Hydrological Conditions with Water Quality in
Motorway Runoff. Public Health and Water Resource Engineering
Section, Imperial College of Science and Technology London.
 39. Revitt, D.M. and Ellis, J.B., 1980.
Rain Water Leachates of Heavy Metals in Road Surface Sediments.
In: Water Research, Vol. 14, pp. 1403-1407.
 40. Sartor, J.D. & Boyd, G.B., 1972.
Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants. Environ-
mental Protection Agency Report, EPA-R2-72-081.
 41. Sartor, J.D. and Gaboury, D.R., ?
Street Sweeping as a Water Pollution Control Measure: lessons
learned over the past two years. ?
 42. Terpstra, H., 1986.
Het effect van wegzout op het milieu. Doctoraal scriptie.
 43. Van de Ven, F.H.M., 1984.
Opzet van een onderzoek in Lelystad naar de vuiluitworp van regen-
waterriolen en hun invloed op het oppervlaktewater (H₂O).
 44. de Vette, K., 1983.
Verontreiniging van de bodem door het wegverkeer. Rijkswaterstaat,
Wegbouwkundige Dienst. Stageverslag.
 45. Werkgroep Zoutbalans (Stichting Relatie Gladheidsbestrijding
Milieubeheer), 1977.
Het effect van wegzout op het zoutgehalte van bodemvocht, grond-
water en oppervlaktewater.
 46. Zondervan, J.G., 1978.
Modelling Urban runoff; a quasilinear approach. Proefschrift.

BIJLAGE I :

Tabellen met concentraties en afspoelhoeveelheden
van de runoff

Tabel 1.1 Samenstelling van de runoff

	Oldenkamp & v.d.Ven '86, 11 buien juni '84 - juni '85			Dauber et al. '79 mei '76 - april '77		Klein '82 A81 2-9 '78 A6 2-7 '79 A8/B10			Bourcier '79	Gupta et al. '81	1-794 6-'76 9-'77	1-45 3-'76 7-'77	1-45 6-'76 9-'77	1-80 3-'76 7-'77	1-40 10-'76 9-'77	1-25 8-'76 9-'77		Youssef et al. '83 14 US 1792		'85 8and, '82-'83		
opp. (ha)	0.0176			5.4		1.3			2.0	25	0.23	-	0.9	42.9	1.0	7.5	22.5	14.3	-	-		
neerslag/jr	747 mm			1132 mm		780 mm			588 mm	612 mm	-	-	762	762	762	1016	1397	508	-	-		
auto's/dag	3200			-		41000			47000	52100	-	-	53000	85000	24000	24000	88000	149000	150000	120000		
Q/R	0.69			-		0.92			0.72	0.35	-	-	0.92	0.30	0.20	0.43	0.43	0.41	1	1		
materiaal wegdek	asfalt			iaerweabel		cement- beton			asfalt- beton 1x/week	asfalt- beton 1x/week	asfalt	-	beton	beton	alleen grasberm	beton	beton	asfalt	beton	-		
reiniging wegdek	-			-		-			-	-	straatvege- natte rein.	-	wordt regelmatig verricht, verschild lokaal.....								-	-
	gewogen gemiddelde	mediane gemiddelde	piek waarde (juni '85)	gewogen gemiddelde	geometr. gemiddelde			NB. 1)		gemiddelde NB 2)							piek conc. 1-794 winter					
suspended solids	150	99	380	110	65	140	180	250	-	260	270	450	300	53	210	260	660	76	173	-		
Fec. strept. per 100ml	23000	11000	6000	0.5	-	-	-	-	-	-	40-4300	1300	-	-	-	-	-	0.09	0.69	-		
NH4 mg/l	1.2	1.3	2.4	0.5	0.35	0.76	0.89	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
NO3+NO2 mg/l	0.9	0.9	0.6	1.3	1.3	-	-	-	-	1.1	1.7	1.5	0.48	0.83	0.98	1.1	2.0	0.35	0.55	-		
TKN mg/l	3.3	2.7	10	2.0	1.6	-	-	-	-	3.0	3.4	3.3	2.9	1.6	2.7	4.5	6.2	-	-	-		
BOD mg/l	9.0	5	15	1.2	9.7	-	-	-	-	24	32	20	15	4	26	46	68	-	-	-		
COD mg/l	120	78	260	-	-	107	120	90	-	15	230	170	110	36	130	190	470	-	-	-		
Ptot mg/l	0.34	0.26	0.76	0.28	0.19	0.25	0.35	0.31	-	0.79	0.50	0.52	0.81	0.30	1.9	0.92	0.90	0.05	0.12	0.28		
pH	6.7	6.8	7.5	-	-	-	-	-	-	6.5-8.1	-	-	-	-	-	-	-	7	7	-		
Ec uS/cm	500	81	-	-	-	360	410	460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	240	-		
T °C	15	14	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cl mg/l	89	6	4	-	-	110	150	360	-	390	860	650	320	200	21	36	2300	2.9	11	-		
SiO2 mg/l	0.64	0.68	0.73	160	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	3.0	-		
SO4 mg/l	9.7	10	9.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	28	-		
Ca mg/l	5	5.1	4.7	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	28	-		
Hg mg/l	0.45	0.45	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	0.9	-		
K mg/l	0.78	0.65	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	3.9	-		
Na mg/l	3.3	3.2	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	3.7	-		
min. olie mg/l	6.7	4.0	16	-	-	70	5.5	2.1	-	-	20	6	1	3	16	14	43	-	-	-		
Fe mg/l	6.7	5.4	18	-	-	3.4	5.2	2.2	89	10	12	15	15	2.0	5.5	17	19	1.2	-	0.83		
Mn mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
HCO3 mg/l	16	16	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	91	-		
TOC mg/l	30	20	70	20	18	-	-	-	-	41	50	54	38	13	38	54	86	-	-	-		
DOC mg/l	2.9	3.1	4.1	7.1	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pb ug/l	450	340	1300	340	240	200	250	160	1900	960	2900	1200	210	100	50	45	5500	720	-	420		
Cd ug/l	2.4	1.6	6.5	3.4	2.5	5.9	5.9	2.8	-	40	68	44	47	25	27	20	120	1.9	-	1.4		
Cu ug/l	7.8	4.9	180	47	40	97	120	58	-	100	160	140	83	45	70	110	270	60	-	44		
Cr ug/l	16	10	4.8	-	-	9.6	20	5.2	140	40	57	54	40	25	23	30	70	10	-	6.2		
Zn ug/l	330	250	720	250	210	36	62	-	1900	410	690	550	180	80	28	72	1300	350	-	230		
Ni ug/l	14	9.9	43	-	-	-	-	-	-	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21		
As ug/l	2.7	1.9	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Hg ug/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	2.9	5.2	1.2	4.9	1.8	1.1	0.76	-	-	-		
B ug/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PCA ug/l	4.5	2.1	16	-	-	2.6	3.0	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
penta chloor fenol ug/l	0.1	0.11	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
pesticiden ug/l	vd.l.	vd.l.	vd.l.	-	-	-	-	-	-	-	vd.l.	vd.l.	vd.l.	vd.l.	vd.l.	vd.l.	-	-	-	-		
PCB ug/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabel I.1 Samenstelling van de runoff (vervolg)

	Golwer & Schneider '79 9-'75 10-'77		Golwer & Schneider '82 10-'78 11-'79				gemiddelde	Collins & al. '84	
			26-10-'78	14-12-'78	20-9-'79	6-11-'79			
opp. (ha)	5.4				5.4			0.08	
neerslag/jr	-				650			648	
auto's/dag	68000				90000			25000	
Q/R	0.9				1.0			0.77	
materiaal								asfalt e.a.	
wegdek	-				-			-	
reiniging									
wegdek									
	piek conc.						behalve 26-10-'78	winter	zomer
suspended solids	480	1000	210	160	310	120	200	52-720	18-3400
Fec strept. per 100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH4 mg/l	2	3.5	0.14	2.2	0.71	0.01	0.97	-	-
NO3+NO2 mg/l	6.1	10	11	2.7	21.1	19	14	-	-
TKN mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOD mg/l	-	-	5	4	22	6	11	-	-
COD mg/l	100	130	26	73	110	31	70	44-360	36-580
Ptot mg/l	-	-	0.5	0.7	1.9	0.7	1.1	-	-
pH	6.6	6.6	7.4	7.1	7.3	6.8	7.1	6.1-7.6	5.7-7.0
Ec uS/cm	-	-	-	-	-	-	-	80-22000	25-550
T °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl mg/l	74	430	3.1	41	14	5	20	12-67000	1.0-40
SiO2 mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO4 mg/l	80	117	31	11	52	31	39	-	-
Ca mg/l	40	63	24	21	43	18	27	-	-
Hg mg/l	1.8	2.6	1.1	1.2	1.8	1.2	1.4	-	-
K mg/l	4.6	8.6	1.5	2.9	7.9	1.3	4.0	-	-
Na mg/l	64	270	2	37	10	6	18	-	-
min. olie mg/l	-	-	-	** 0.65	** 0.7	** 3.9	** 1.8	8-40	6-23
Fe mg/l	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn mg/l	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
HCO3 mg/l	49	62	36	38	74	36	49	-	-
TOC mg/l	-	-	24	13	32	15	20	-	-
DOC mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb ug/l	90	140	** 610	58	66	26	50	120-2900	100-8000
Cd ug/l	6.2	11	** 5	2	2	4	3	0-100	0-39
Cu ug/l	49	60	** 114	41	48	25	38	7-30	-
Cr ug/l	15	25	-	-	-	-	-	18-85	-
Zn ug/l	500	550	** 110	170	230	120	170	80-4100	120-3400
Mi ug/l	27	-	** 38	11	19	4	11	-	-
As ug/l	2.8	4	** 0.8	2	3	0.9	2.0	-	-
Hg ug/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ug/l	43	-	** 65	61	110	10	60	-	-
PCA ug/l	-	-	0.54	22	4.2	4.9	10.3	-	-
totaal									
fenol ug/l	-	-	60	26	58	26	37	-	-
pesticiden	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB ug/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NB.1: afwatering ten dele door met gras begroeid gebied

NB.2: gemiddelden zijn verkregen door de concentraties
van Gupta (zie volgende kolommen) te middelen

* : gefiltreerd

** : niet gefiltreerd

Tabel I.2: Afspoelhoeveelheden van de runoff (in kg/ha, jaar)

	1		2	3				4					5	6	7
				A 81	A 6	A8/B10	1-794	HWY.45	HWY.45	1-81	1-40	1-25			
auto's/dag	3200		-	41000	47000	52100	53000	85000	85000	24000	88000	149000	68000	68000/90000	25000/40000
susp.solids	1600	1100	820	950	1200	1400	660	1400	560	230	1100	510	3500	1300	2100
NH4	13	14	3,6	5,0	4,5	2,9	-	-	-	-	-	-	14	6,3	-
NO3/NO2	9,8	9,8	9,9	-	-	-	3,6	4,7	1,9	2,8	8,1	1,5	44	93	-
TKN	36	29	15	-	-	-	7,8	12	7,0	4,8	13	4,0	-	-	-
BOD	97	54	90	-	-	-	54	40	32	17	95	30	-	-	-
COD	1300	840	-	730	770	590	420	460	270	150	550	310	-	-	-
P-totaal	3,7	2,8	2,1	1,8	2,0	1,8	1,4	1,9	2,3	1,7	10	0,97	-	7,2	-
Cl	1000	65	1200	1100	1100	3800	780	1900	450	530	94	30	530	130	6600
SiO2	6,9	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO4	100	110	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	580	250	-
Ca	54	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290	180	-
Mg	4,9	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	9,1	-
K	8,4	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	26	-
Na	36	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	460	120	-
Min.olie	72	43	-	47	38	14	33	6,1	0,38	3,3	18	5,4	-	11	110
Fe	75	59	-	25	40	13	28	50	32	9,2	31	18	7,9	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-
HCO3	170	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350	320	-
TOC	320	220	140	-	-	-	130	150	89	46	140	95	-	130	-
DOC	32	34	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	4,8	3,7	2,5	1,4	1,6	1,0	7,1	3,6	0,51	0,35	2,9	0,86	0,65	4,0	4
Cd	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,14	0,07	0,06	0,04	0,16	0,03	0,05	0,03	-
Cu	0,84	0,53	0,35	0,68	0,76	0,37	0,36	0,47	0,19	0,13	0,43	0,17	0,35	0,29	-
Cr	0,17	0,11	-	0,07	0,14	0,03	0,19	0,34	0,06	0,04	0,16	0,03	0,05	0,03	-
Zn	3,5	2,7	1,9	2,5	4,0	2,0	1,9	2,1	0,45	0,29	1,3	0,70	3,6	27	7
Ni	0,15	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,25	-
As	0,03	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	-
Hg	-	-	-	-	-	-	5,3x10 ⁻³	12x10 ⁻³	2,0x10 ⁻³	24x10 ⁻³	220x10 ⁻³	2,7x10 ⁻³	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,42	-
PCA's	0,05	0,02	-	0,02	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,07/0,61	-
pentachloor- fenol	,001	,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	-
pesticiden	,05	,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
materiaal wegdek	asfalt	imper- meabel	ce- ment- beton	as- falt beton	asfalt- beton	beton	beton	gras- be- groei- ing	beton	beton	asfalt	asfalt	cement- beton	asfalt	-
reiniging wegdek	-	-	niet	1x / week	1x / 2 mnd	vindt regelmatig	wisselend per lokatie	-	-	-	-	-	-	-	-

1 = Oldenkamp en van der Ven, '86

2 = Dauber et al., '79

3 = Klein, '82

4 = Gupta et al., '81

5 = Golwer und Schneider, '79

6 = Golwer und Schneider, '82

7 = Colwill et al., '84

Concentraties niet gecorrigeerd voor
input van de regen.

Bijlage II: Samenvattingen van de literatuur waaruit tabel I.1 (concentraties in de runoff) is samengesteld

De samengevatte artikelen zijn achtereenvolgens:

- Oldenkamp en van de Ven, 1986. Kwaliteit van het afgevoerde water van een hoofdweg in Lelystad. Werkdocument 1986-4 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
- Dauber et al., 1979. Pollutants in Motorway Stormwater Runoff. Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG).
- Klein, H., Menge und Beschaffenheit der Regenabflüsse von Autobahnen.
- Klein, H., 1982. Die Beschaffenheit der Niederschlagsabflüsse von Autobahnen. In: Wasserwirtschaft 72, nr. 2, pp. 37-43.
- Bourcier, D.R., 1979. Lead, Iron, Chromium and Zinc in Road Runoff at Pullman, Washington. In: The Science of the Total Environment 12, pp. 205-215.
- Gupta et al., 1981. Constituents of Highway Runoff Volume IV, Characteristics of Highway Runoff from Operating Highways. Research Report, Report No. FHWA/RD-81/045.
- Yousef et al., 1985. Consequential Species of Heavy Metals in Highway Runoff. In: Transportation Research Record 1017, The National Research Council, Washington D.C., pp. 56-62.
- Yousef et al., 1985. Removal of Highway Contaminants by Roadside Swales. In: Transportation Research Record 1017, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 62-68.
- Golwer, A. und Schneider, W., 1979. Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen Spurenstoffen im Gebiet von Strassen. In: gwf.-Wasser/Abwasser 120, H. 10, pp. 461-467.
- Golwer, A. und Schneider, W., 1982. Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Gebiet von Strassen. In: gwf.-Wasser/Abwasser 123, H. 7, pp. 329-342.
- Colwill et al., 1984. Water Quality of Motorway Runoff. Technical Supplementary Report 823, Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment, Department of Transport.

INLEIDING

In deze bijlage worden de artikelen die gebruikt zijn om tabel I.1 (Concentraties van de runoff, in mg/l) en tabel I.2 (Afspoelhoeveelheden van de runoff in kg/ha, jaar) samen te stellen puntsgevijs samengevat op de volgende manier:

- | | |
|--------------------------|--|
| <u>Monstergebied</u> | <ul style="list-style-type: none"> - soort weg en inrichting van weg - totaal oppervlak afwateringsgebied - verkeersintensiteit - materiaal wegdek - Q/R (= afvloeiingscoëfficiënt) - gem. hoeveelheid neerslag per jaar |
| <u>Monstername</u> | <ul style="list-style-type: none"> - periode van monstername, aantal buien, aantal monsters - verzamelen van runoff en watermonsters |
| <u>Analyseresultaten</u> | <ul style="list-style-type: none"> - of analyseresultaten totaal gehalten aan stoffen weergeven - weergave van concentraties in runoff - weergave van afspoelhoeveelheden van runoff - piekconcentraties van runoff - variaties in samenstelling runoff als gevolg van de invloed van seizoensfluctuaties |
| <u>Conclusies</u> | <ul style="list-style-type: none"> - belangrijke conclusies in verband met dit specifieke onderzoek |
| <u>Opmerkingen</u> | <ul style="list-style-type: none"> - verdere bijzonderheden |

Oldenkamp, A en van de Ven, F.H.M., 1986.

Kwaliteit van het afgevoerde water van een hoofdweg in Lelyst
Werkdocument 1986 - 4 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolder

Monstergebied

- kernhoofdweg in woonwijk in Lelystad
- 22 m x 8 m = 0.0176 ha (= 2x één rijstrook)
- 3200 voertuigen/dag
- asfalt
- Q/R heeft een geschatte waarde van .69
- 747 mm/jaar

Monstername

- in de periode juni '84 tot juli '85 zijn 11 buien bemonsterd
- per bui werd uit een PVC-tank, waarin water werd opgevangen dat naar één van de straatkolken afgevoerd werd, een volume-proportioneel monster genomen

Analyseresultaten

- de analyseresultaten geven de totaal-gehalten aan stoffen weer (persoonlijke mededeling)
- concentraties van de runoff zijn als gewogen gemiddelden als mediane waarden gegeven (in mg/l)
- afspoelhoeveelheden van de runoff (zowel voor gewogen gemiddelden als mediane waarden) worden gegeven in gr/m, jaar. Herberekening van deze afspoelhoeveelheden (in kg/ha, jaar) uitgaande van een reële afvloeiingscoëfficiënt van .69 naar een niet-reele afvloeiingscoëfficiënt van 1.0, vond plaats door vermenigvuldiging met de factor 100/69 (zie tabel I.1).
- piekconcentraties worden in tabel I.1 als concentraties van de meest verontreinigde afvoer van juni '85 weergegeven (in mg/l)
- variatie in samenstelling van de runoff als gevolg van seizoensinvloeden kunnen aan de hand van de in dit onderzoek verkregen resultaten bestudeerd worden. Opmerkelijk is dat zowel de schoonste als de meest verontreinigde afvoer optrad in zomer en dat ook de bui in jan. '85 in ernstige mate verontreinigd was (Oldenkamp, '86).

Conclusies

- aan de hand van verricht vergelijkend literatuuronderzoek wordt geconcludeerd dat vuilvracht per ha of per strekkende meter een stabielere indicatie van de hoeveelheid afstromende verontreiniging levert dan de (schijnbare) produktie per voertuig. Dit uitgaande van de veronderstelling dat zich op het wegoppervlak maar een beperkte hoeveelheid vuil kan afzetten en dat de rest verwaait. Dit onder andere als gevolg van de door de voertuigen veroorzaakte turbulentie, zodat de vuillast per voertuig af zal nemen naarmate de verkeersintensiteit toeneemt.

Opmerkingen

- het gehalte PCA geeft de som van de zes van Borneff weer. De gemiddelde gehalten vertonen een afnemende bijdrage volgens de reeks: fluoranteen, benzo(b)fluoranteen, indeno(1,2,3,c,d)pyreen, benzo(ghi)perylene, benzo(a)pyreen en benzo(k)fluoranteen.

Dauber, L., Novak, B., Zobrist, J. and Zürcher, F., 1979.
Pollutants in Motorway Stormwater Runoff. Swiss Federal Institut
for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG).

Monstergebied

- autoweg (National Motorway N, tussen Zürich en Winterthur)
- 1728 m x 31 m (=5.4 ha)
- veel minder dan 3000 voertuigen/rijrichting, uur
- 5,4 ha impermeabel wegdek
- Q/R wordt niet gegeven
- 1132 mm/jaar

Monstername

- monstername vond gedurende een jaar per bui plaats in de periode mei '76 tot mei '77
- runoff verzamelt zich in "catch basins", waar sedimentatie plaats vindt en wordt zodoende ten dele gezuiverd. Monstername vindt plaats via een afwateringskanaal uit een "catch basin" voordat zuivering heeft plaatsgevonden.

Analyseresultaten

- of "suspended solids"-fractie is afgefiltreerd voordat analyse plaatsvond wordt niet vermeld
- concentraties van de runoff (in mg/l) worden als geometrisch gemiddelde en gewogen gemiddelde weergegeven (gezien de lognormale verdeling van de dataset moet het geometrisch gemiddelde als meest karakteristieke waarde beschouwd worden). De concentraties zijn zeer asymmetrisch verdeeld, de gemiddelden worden sterk verhoogd door enkele piekwaarden.
- afspoelhoeveelheden van de runoff worden in kg/ha,jaar gegeven, het is niet geheel duidelijk hoe deze berekend worden: waarschijnlijk gebaseerd op een impermeabel oppervlak van 5,4 ha en een onbekende Q/R
- piekconcentraties worden niet gegeven
- variaties van de samenstelling van de runoff ten gevolge van seizoensinvloeden zijn niet vermeld

Klein, H., Menge und Beschaffenheit der Regenabflüsse von Autobahnen.

Klein, H., 1982. Die Beschaffenheit der Niederschlagsabflüsse von Autobahnen. In: Wasserwirtschaft 72, nr.2, pp. 37-43.

Monstergebied

- 3 autosnelwegen: A-81 Stuttgart-Würzburg (bij Pleidelsheim)
A-6 Heilbronn-Mannheim bij (Heilbronn-Obereisesheim)
de kruising tussen de A-8 en de B-10 (Ulm/West)

	A-81	A-6	A-8/B-10
- totaal afwateringsoppervlak	1,3 ha	2,52 ha	25 ha
ondoorlaatbaar oppervlak	1,3 ha	2,16 ha	9,9 ha
opp. met verhoogde wegrand	1,3 ha	2,16 ha	4,8 ha
open wegdek	-	0,36 ha	15 ha
- verkeersintensiteit	41000 voertuigen/dag	47000 voertuigen/dag	A-8:40600 voertuigen/dag B-10:11500 voertuigen/dag
- materiaal wegdek	cementbeton	asfaltbeton	asfaltbeton
- reiniging wegdek	geen	1x per week	1x per 2 mnd
- Q/R	0.92	0.72	0.35
- gem.hoeveelheid neerslag	780 mm/jaar	588 mm/jaar	612 mm/jaar
- Monstername	bemonstering vond plaats via het afwateringssysteem waarop de runoff direkt afwatert		bemonstering via het afwateringssysteem waarop de runoff indirect via met gras begroeid en bebost gebied afwatert

Analyse

- de analyseresultaten geven totaal gehalten aan stoffen weer (pe soonlijk commentaar)
- concentraties van de runoff zijn per monsterlokatie als gewogen gemiddelden weergegeven (in mg/l)
- afspoelhoeveelheden van de runoff zijn per monsterlokatie kg/ha, jaar weergegeven. Herberekening van deze afspoelhoevee naar een $Q/R=1.0$ vond plaats door vermenigvuldiging met de fa 100/92, 100/72, 100/35, gebaseerd op reële afvloeingscoëfficiënten van respectievelijk .92, .72 en .35
- piekconcentraties van de runoff worden niet gegeven
- variatie in samenstelling van de runoff als gevolg van seizoens invloeden wordt niet gegeven

Opmerkingen

- bij onderling vergelijk moet rekening worden gehouden met het f dat de runoff afkomstig van de A-8/B-10 in tegenstelling met runoff afkomstig van de A-81 en A-6 indirect afwatert v begroeid gebied. De concentraties en ook de afspoelhoeveelhe van de runoff van de A-8/B-10 zijn dan ook veel lager.

Conclusies

- vuilaccumulatie op het wegdek vindt niet lineair plaats, doordat vuil verwaaid wordt door wind en luchtwervelingen veroorzaakt de verkeer
- periode van neerslag met daartussen lange perioden van droogte bleken tot een beduidend minder grote vuillast in de runoff te leiden dan kort opeenvolgende perioden van neerslag
- vergelijkend literatuuronderzoek bleek goed mogelijk te zijn, in dien rekening gehouden wordt met factoren als het lood-gehalte i benzine (een hoger lood-gehalte in benzine veroorzaakt een hoger lood-gehalte in de runoff), het wegoppervlak per gereden kilomet (positief gecorreleerd aan de vuillast van de runoff), weginrich ting (aanwezigheid van parkeerplaatsen veroorzaakt een hogere vuillast in de runoff, doordat het vuil hierop blijft liggen, ni verwaait en vervolgens in de runoff terecht komt)
- reiniging van het wegdek bleek niet tot afname van de vuillast i de runoff te leiden

Bourcier, D.R., 1979.

Lead, Iron, Chromium and Zinc in Road Runoff at Pullman, Washington. In: The Science of the Total Environment 12 (1979), pp. 205-215.

Monstergebied

- verkeersweg (Pullman-Moscow viaduct, State Route 270, Pullman, Washington)
- 0.23 ha
- verkeersintensiteit wordt niet gegeven
- asfalt
- Q/R wordt niet gegeven
- gem. hoeveelheid neerslag wordt niet gegeven

Monstername

- monstername van drie buien vond gedurende onbekende monsterperiode plaats
- monstername vond plaats door het verzamelen van run off op verschillende locaties in het afwateringssysteem via PVC- en betonnen buizen

Analyseresultaten

- bij de analyse is onderscheid gemaakt tussen totaal-gehalte aan metalen, en opgeloste-colloïdale fractie, afgescheiden door middel van centrifuge
- concentraties in runoff worden gemiddeld over de drie buien weergegeven in ppm (hierbij wordt opgemerkt dat de concentraties sterk variabel zijn)
- afspoelhoeveelheden van de runoff worden in mg/m^2 , dag weergegeven, uitgaande van een onbekende Q/R. Door vermenigvuldiging met de factor 3.65 werden deze in kg/ha , jaar herberekend.
- piekconcentraties van de runoff worden niet gegeven
- variaties als gevolg van seizoensinvloeden worden niet gegeven

Conclusies

- slechts een klein percentage van de totale hoeveelheid metalen bleek in de opgeloste-colloïdale fractie aanwezig te zijn

Gupta, M.K., Agnew, R.W., Graber, D., Kreutzberger, W., 1981.
 Constituents of Highway Runoff Volume IV, Characteristics of
 Highway Runoff from Operating Highways. Research Report, Re-
 port No. FHWA/RD-81/045.

Monstergebied

	Milwaukee, WI 1-794	Milwaukee, WI HWY.45	Milwaukee, WI HWY.45 alleen bermwater	Harrisburg, PA 1-81	Nashville, TN 1-40 weg ingegraven	Denver, CO 1-25
-oppervlakte totaal opp.	248m x 3.6m = 9 ha	2898m x 14.8m = 42.9 ha	153m x 6.5m = 1.0 ha	610m x 12.3m = 7.5 ha	1891m x 11.9m = 22.5 ha	1098m x 13.0m = 14.3 ha
% gesloten wegdek	100 %	31 %	0 %	27 %	37 %	37 %
-materiaal wegdek/ berm	beton	beton/gras	grasb	beton/gras	beton/gesteente	asfalt/gras/grond
-aantal voertuigen /dag	53000	85000	85000	*88000	88000	149000
-Q/R	.92	.30	.20	.43	.43	.41
-mm neerslag/jaar	762	762	762	1016	1397	508

Monsternare

-monsterperiode	juni '76-sept '77	mrt '76-juli '77	juni '76-sept '77	mrt '76-juli '77	okt '76-sept '77	aug '76-sept '77
-----------------	-------------------	------------------	-------------------	------------------	------------------	------------------

Analyseresultaten

- bij analyse is op de volgende manier onderscheid gemaakt:
 discrete monsters: een aantal geselecteerde variabelen, primaire metalen en solids (olie en vet, en bacteriën worden slechts selectief geanalyseerd)
 samengestelde monsters: resterende metalen, organische verbindingen en een aantal andere variabelen

Analyseresultaten

- bij analyse is op de volgende manier onderscheid gemaakt:
discrete monsters: een aantal geselecteerde variabelen, primaire metalen en solids (olie en vet, en bacteriën worden slechts selectief geanalyseerd)
samengestelde monsters: resterende metalen, organische verbindingen en een aantal andere variabelen
- of de "suspended solids" - fractie afgefiltreerd is voordat analyse plaats vond, is niet vermeld
- de concentraties van de runoff worden als gemiddelde waarden gegeven (in mg/l; gemiddeld per locatie over de desbetreffende monsterperiode). Ook wordt een gemiddelde waarde, gemiddeld over de zes monsterlocaties, weergegeven.
- afspoelhoeveelheden van de runoff worden in kg/ha, bui opgegeven. Herberekening van de loadings vond plaats uitgaande van de ter plaatse geldende Q/R naar loadings in kg/ha, jaar met een Q/R = 1.0
- piekconcentraties van de runoff zijn weergegeven als de meest verontreinigde runoff (in mg/l; gemeten tijdens de winterperiode op monsterlocatie Milwaukee, W1 1-794)
- variaties in de samenstelling van de runoff als gevolg van seizoensinvloeden kunnen bestudeerd worden aan de hand van de gegeven concentraties (in mg/l), gemiddeld over de winter- en niet-winterperioden (Gupta, et al., '81).

Conclusies

- het merendeel van de zware metalen blijkt geassocieerd aan vaste deeltjes in de runoff voor te komen. De fracties van opgeloste zware metalen waren zeer klein en lagen in het algemeen beneden de detectielimiet. Voor een aantal zware metalen is de verhouding tussen de totale hoeveelheid en opgeloste fractie voor meerdere monsters bepaald.
- in dit onderzoek is de relatie tussen een aantal variabelen (waaronder de zware metalen) en een aantal logistieke parameters (gemiddelde verkeersintensiteit, ondoordringbaarheid van het wegdek, stofneerslag bestudeerd (zie tabel 4.6). Er blijkt geen enkelvoudige correlatie te bestaan.

Yousef, Y.A., Harper, H.H., Wiseman, L.P. and Bateman, J
1985. Consequential Species of Heavy Metals in Highway Runoff.
In: Transportation Research Record 1017, TRB, National Research
Council, Washington D.C., pp. 56-62.

Monstergebied

- meerbaans verkeerswegen
kruising Interstate 4 - Maitland Interchange, Florida
kruising US-17-92 (2-baansweg) - Shingle Creek, Florida
- oppervlakte niet gegeven
- gem. verkeersintensiteit resp. 50000 voertuigen/dag en 11
voertuigen/dag
- materiaal wegdek niet gegeven
- Q/R niet gegeven
- gem. hoeveelheid neerslag niet gegeven

Monstername

- bemonsterd werden 5 afzonderlijke buien in de periode april
- augustus '83
- afwatering van de bemonsterde runoff van de kruising I
Maitland Interchange vond ten dele direct plaats en ten dele
met grasbegroeide, moerassige laagten;
afwatering van de bemonsterde runoff van de kruising US-17-
Shingle Creek vond direct plaats

Analyseresultaten

- totale concentraties, en concentraties na filtratie worden gege
- concentraties in de runoff zijn als gemiddelde waarden (in mg/l
weergegeven; voor de kruising tussen US-17-92 en de Shingle Cr
ontbreken waarden voor de zware metalen
- afspoelhoeveelheden in de runoff (in kg/ha,jaar) worden niet ge
ven
- piekconcentraties van de runoff worden niet gegeven
- variaties in samenstelling van de runoff als gevolg va
seizoensinvloeden worden niet gegeven

Conclusies:

- zware metalen in de runoff blijken voornamelijk als vast
deeltjes aanwezig te zijn, zie onderstaande tabel

Tabel II.1: Percentage opgeloste stof ten opzichte van het totaal
gehalte aan zware metalen (Yousef et al., '85)

variabele	opgelost (ug/l)	totaal (ug/l)	% opgeloste stof
Cd	1.1	1.9	58
Zn	50	347	14
Cu	32	60	53
Pb	43	723	6
Ni	3.2	28	11
Cr	3.3	10	33
Fe	48	1176	4

Yousef, Y.A., Wanielista, M.P. and Harper, H.H., 1985 Removal of Highway Contaminants by Roadside Swales. In: Transportation Research Record 1017, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 62-68

Monstergebied

- kruising Highways Maitland Interchange-Interstate 4 (meerbaans verkeerswegen)
- oppervlakte niet gegeven
- gemiddelde verkeersintensiteit niet gegeven
- materiaal wegdek niet gegeven
- Q/R varieert tussen 0.41-0.91
- gemiddelde hoeveelheid neerslag niet gegeven

Monstername

- monstername vond plaats gedurende een maandelijkse periode in '82 - '83
- monstername vond plaats in stations waarop de runoff direct afwaterde

Analyseresultaten

- totale concentratie, en concentratie na filtratie worden gegeven
- concentraties in de runoff worden als gemiddelde weergegeven (in mg/l)
- afspoelhoeveelheden van de runoff (in kg/ha,jaar) worden niet gegeven
- piekconcentraties van de runoff worden niet gegeven
- variaties van de samenstelling van de runoff als gevolg van seizoensinvloeden worden niet gegeven

Conclusies:

- zware metalen in de runoff blijken voornamelijk als vaste deeltjes aanwezig te zijn, zie onderstaande tabel
- zuivering van de runoff door indirecte afwatering via moerassig gebied blijkt maximaal te zijn bij een zo langdurig mogelijke tijd van interactie en zo hoog mogelijke infiltratie-snelheden (meer specifieke aanbevelingen om de efficiëntie van deze zuivering zo groot mogelijk te maken, worden in dit artikel ook gedaan)
- verwijdering van zware metalen zou veroorzaakt kunnen worden door precipitatie- en sorptie-processen. Daardoor worden ionen en complexen mogelijkserwijs meer efficiënt verwijderd dan stabiele complexen en niet geladen deeltjes.

Tabel II.2: Percentage opgeloste stof ten opzichte van het totaal-gehalte aan zware metalen (Yousef et al., 1985)

	totaal-gehalte (in $\mu\text{g/l}$)	opgeloste fractie (in $\mu\text{g/l}$)	% opgeloste stoffen
lood	420	36	9 %
cadmium	1.4	1.1	97 %
koper	44	27	61 %
chroom	6.2	3.2	52 %
zink	230	69	22 %
nikkel	21	3.4	16 %

Golwer, A. und Schneider, W., 1979. Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen Spurenstoffen im Gebiet von Strass In: gwf. - Wasser/Abwasser 120, H. 10, pp. 461-467

Monstergebied

- autosnelweg Bundesautobahn A3, ten noordoosten van vliegveld Frankfurt/Main
- 3000 m x 18 m = 5.4 ha
- ca. 68000 voertuigen/dag ('76)
- materiaal wegdek niet vermeld
- $Q/R = 0.9$
- gem. hoeveelheid neerslag/jaar niet vermeld

Monstername

- monstername vond plaats gedurende de periode september '75 t/m oktober '77
- bemonstering van de runoff vond plaats aan het einde van de afvoerbuis waardoor de runoff naar een verzamelbekken stroomt. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de runoff pas bemonsterd wordt nadat deze ten dele afgewaterd is door met gras begroeid gebied.

Analyseresultaten

- uit de literatuur wordt niet volledig duidelijk of de "suspended solids"-fractie is afgefiltreerd voordat analyse plaatsvond. Waarschijnlijk is dit niet gebeurd
- concentraties van de runoff zijn weergegeven als gemiddelde waarden, minima en maxima (in mg/l)
- afspoelhoeveelheden van de runoff zijn berekend uitgaande van een gem. hoeveelheid neerslag van 650 mm/jaar (Golwer en Schneider, '82) en een $Q/R = 0.9$ en herberekend voor een $Q/R = 1.0$
- piekconcentraties van de runoff zijn als maxima van de concentraties weergegeven (in mg/l)
- variaties in samenstelling van de runoff als gevolg van seizoensinvloeden worden niet vermeld

Golwer, A. und Schneider, W., 1982. Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Gebiet von Strassen. In: gwf.-Wasser/Abwasser 123, H. 7, pp. 329-342.

Monstergebied

- autosnelweg, Bundesautobahn A3 ten noordoosten van vliegveld Frankfurt/Main
- 3000 m x 18 m = 5.4 ha
- 63000 ('75) - 90000 ('80) voertuigen/dag
- materiaal wegdek niet vermeld
- Q/R niet vermeld
- waarschijnlijk 650 mm/jaar

Monstername

- de runoff van 4 afzonderlijke buien werd in de periode oktober '78 - november '79 bemonsterd
- bemonstering van de runoff vond plaats aan het einde van een afvoerbuis waardoor de runoff naar een verzamelbekken stroomt. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de runoff pas bemonsterd wordt nadat deze ten dele afgewaterd is door met grasbegroeid gebied.

Analyseresultaten

- concentraties van de runoff zijn per bui weergegeven (in mg/l). De gemiddelde concentratie is berekend door de concentraties van de afzonderlijke buien te middelen, met uitzondering van de eerste bui, omdat een aantal variabelen (nl. B, TOC, COD, BOD en totaal fenolgehalte) bij de eerste bui in ongefiltreerd monster en bij de andere drie buien in gefiltreerd monster zijn bepaald
 - uitgaande van een gem. neerslag van 650 mm/jaar, de berekende gem. concentraties en een Q/R ongeveer gelijk aan 0.9 (Golwer & Schneider, '82) zijn de afspoelhoeveelheden van de runoff berekend (in kg/ha, jaar) voor een Q/R ongeveer gelijk aan 1.0. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de berekeningen van concentraties en afspoelhoeveelheden op jaarbasis slechts gebaseerd is op 3 in december, september en november bemonsterde buien.
 - piekconcentraties van de runoff als meest vervuilde runoff van neerslag van 20-9-1979 gegeven (in mg/l)
 - variatie van de samenstelling van de runoff als gevolg van seizoensinvloeden worden niet vermeld
- De anorganische concentraties zijn van sommige monsters vóór, en van sommige monsters na infiltratie gemeten; de organische concentraties zijn zowel voor als na centrifuge gemeten.

Colwill, D.M., Peters, C.J. and Perry, R., 1984. Water Quality Motorway Runoff. TRRL Supplementary Report 823, Transport and Research Laboratory, Department of the Environment Department Transport.

Monstergebied

- 3-baans autoweg Motorway M1, Toddington, Bedfordshire, Engela
- $53.6 \text{ m} \times 15.2 \text{ m} = 0.08 \text{ ha}$
- 25000-40000 voertuigen/dag
- asfalt
- $Q/R = 500/648 = 0.77$
- 648 mm/jaar

Monstername

- monstername vond plaats gedurende de periode nov.'80 - okt.
- monstername van runoff vond plaats via een PVC-buis aangesloten op het afwateringssysteem

Analyseresultaten

- niet vermeld of "suspended solids"-fractie is verwijderd voor analyse plaats vond
- concentraties in runoff als minima en maxima gedurende zomer en winter weergegeven (in mg/l). Voor een beperkt aantal variabelen zijn de gemiddelde waarden voor zomer en winter gegeven (berekend als rekenkundig gemiddelde van de gewogen gemiddelde concentraties van elke bui afzonderlijk).
- afspoelhoeveelheden van de runoff worden voor een beperkt aantal variabelen gegeven (in kg/km, jaar), waarbij vermoedelijk uitgegaan werd van een $Q/R = 500/648 = 0.77$. De afspoelhoeveelheid in kg/ha, jaar uitgaande van $Q/R = 1.0$ worden berekend door te vermenigvuldigen met de factor $(10/15.2 \times 100/77)$
- piekconcentraties worden in mg/l gegeven
- variaties van de samenstelling van de runoff als gevolg van seizoensinvloeden worden gegeven
De seizoensinvloed is bestudeerd voor de variabelen Cl, Br, TSS, TVS, TTS, Pb, Zn en Cd. Significant onderscheid (dat wil zeggen een betrouwbaarheidsinterval van 95%) bestaat voor TSS, TVS, en Br. Een verklaring hiervoor is de invloed van gladheidstrijding op de samenstelling van de runoff. Voor TSS, Pb, Zn en Cd bestaat geen significant onderscheid.

Conclusies

- de invloed van de verkeersintensiteit op de samenstelling van runoff kan niet vastgesteld worden daar de runoff-concentraties nagenoeg constant is.
Bovendien is de invloed van de verkeersintensiteit te verwaarlozen ten opzichte van de invloed van logistieke parameters en voorgaande perioden van droogte (wel wordt een lagere verkeersintensiteit aan een lager gehalte aan suspended solids gerelateerd).

Bijlage III: Stroomschema van de computerberekeningen

Voor de berekening van het gedrag van een stof in de bodem is gebruik gemaakt van een model. Dit model berekent bij een gegeven belasting van de bodem de toename van het gehalte van een stof in de bodem (dat wil in dit model zeggen de bovenste bodemlaag van 20 cm dikte) en de concentraties uit het hieruit percolerende "grondwater". De berekeningen worden uitgevoerd voor een belastingsduur van respectievelijk 1, 5, 10, 25 en 50 jaar.

Het computermodel wordt in het navolgende besproken aan de hand van een stroomdiagram (figuur III.1).

De aannames die zijn gemaakt worden hierbij toegelicht. De belasting van de bodem door een stof in de runoff (ofwel de emissie) wordt per jaar omgerekend naar een toename van het gehalte van die stof in de bovenste 20 cm bodem.

Aangenomen is dat de stof direkt homogeen verdeeld wordt over de bovenste 20 cm bodem. De degradatie van een stof in de bodem (hiermee wordt bedoeld bijvoorbeeld afbraak, vervluchtiging, opname door planten van stoffen, etc.) wordt bij de berekeningen op 0 % gesteld. Voor veel organische stoffen (bv. olie) kunnen deze processen in de praktijk echter wel degelijk een grote rol spelen.

In formulevorm betekent bovenstaande:

$$X = \frac{1000 \times B}{G} \quad (1)$$

Hierin is:

X = toename van de concentratie van een stof in de bodem (mg/kg droge stof) ten gevolge van een emissie per tijdstap.

B = aanvoer van die stof: belasting (kg/jr, ha bezinksloot of per ha wegberm)

G = droge stofgewicht van de bouwvoor van 1 hectare

$G = (0,2 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 100 \text{ m}) \times S$

S = droog volumegewicht in ton/m³ (zie tabel 5.7)

Op grond van het aktuele gehalte van een stof in de bodem, is met behulp van de distributie-coëfficiënt (K_d) het gehalte van dezelfde stof in het bodemvocht bepaald.

Als uitgangssituatie voor de modelberekeningen is uitgegaan van het achtergrondgehalte in de bodem (naar Edelman uit de Reeks Bodembescherming van het Ministerie VROM).

Met behulp van de K_d-waarde wordt de concentratie in het bodemvocht berekend:

$$C_w = \frac{C_g}{K_d} \quad (2)$$

Hierin is:

C_w = gehalte in het bodemvocht (mg/l)

C_g = gehalte in de bodem (mg/kg droge stof)

K_d = distributie-coëfficiënt (dm³/kg)

Vervolgens wordt de afname Y berekend van het gehalte van desbetreffende stof in de bodem als gevolg van uitloging ervan het percolaat:

$$Y = C_w \times \frac{W}{G} \quad (3)$$

Hierin is:

C_w = gehalte in het percolerende bodemvocht, berekend in formule 2

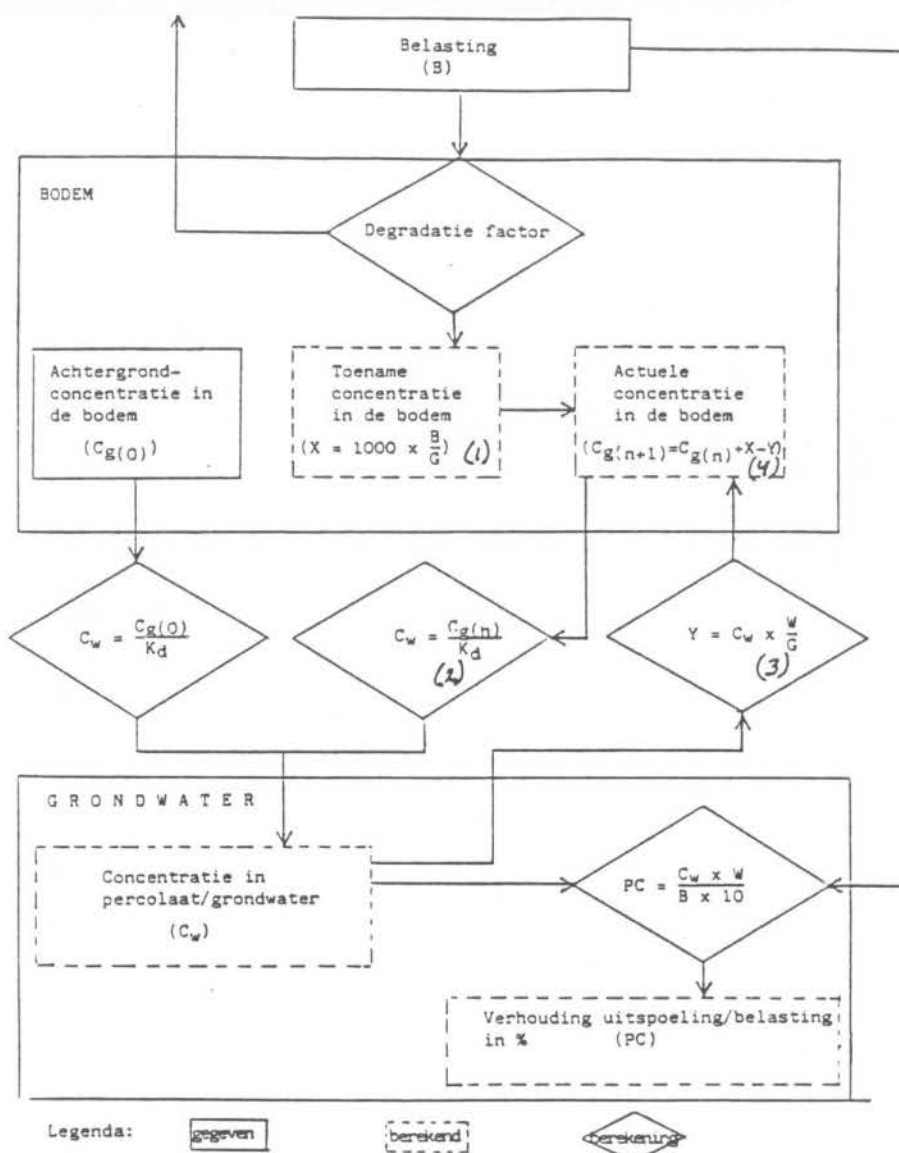
W = de hoeveelheid percolatiewater (deze is per berekeningss^t gelijk gesteld aan het porienvolume van de bodemlaag kwestie)

G = de massa droge stof in de betreffende bodemlaag

Vervolgens wordt het nieuwe gehalte in de bodem berekend:

$$C_g(n+1) = C_g(n) + X - Y \quad (4)$$

De berekeningscyclus wordt herhaald totdat twee opeenvolgende berekende waarden voldoende weinig van elkaar verschillen.



FIGUUR 5.5. Stroomdiagram van het computermodel voor berekening van uitspoeling van stoffen uit de onverzadigde zone.
(Toelichting in de tekst.)

Bijlage IV: A-, B- en C-waarden voor bodem en grondwater



The diagram consists of several rectangular boxes arranged in a hierarchical or process-based structure. The boxes are connected by lines, suggesting a flow or relationship between different components. The text within the boxes is extremely faint and illegible, but the overall layout suggests a complex system or process flow. The diagram is centered on the page, below the title.

A-, B-EN C-WAARDEN VOOR BODEM EN GRONDWATER UIT DE LEIDRAAD BODEM-
SANERING (MINISTERIE VROM)

Toetsingskader voor de beoordeling van de concentratieniveaus van diverse verontreinigingen op plaatsen met woonbebouwing of waterwinning als bestaande of toekomstige bestemming. Indicatieve richtwaarden:

A - referentiewaarde

B - toetsingswaarde t.b.v. (nader) onderzoek

C - toetsingswaarde t.b.v. sanering(-sonderzoek)

Voorkomen in:		Grond en slib(ppm(droge stof))			Ondiep grondwater (µg/l)		
Component/niveau		A	B	C	A	B	C
I	<u>Metalen</u>						
	Cr	100	250	800	20	50	200
	Co	20	50	300	20	50	200
	Ni	50	100	500	20	50	200
	Cu	50	100	500	20	50	200
	Zn	200	500	3000	50	200	800
	As	20	30	50	10	30	100
	Mo	10	40	200	5	20	100
	Cd	1	5	20	1	2,5	10
	Sn	20	50	300	10	30	150
	Ba	200	400	2000	50	100	500
	Hg	0,5	2	10	0,2	0,5	2
	Pb	50	150	600	20	50	200
II	<u>Anorganische verontr.</u>						
	NH ₄ (als N)	-	-	-	200	1000	3000
	F (totaal)	200	400	2000	300	1200	4000
	CN (als vrij ion)	1	10	100	5	30	100
	CN (totaal-complex)	5	50	500	10	50	200
	S (totaal sulfiden)	2	20	200	10	100	300
	Br (totaal)	20	50	300	100	500	2000
	PO ₄ (als P)	-	-	-	50	200	700
III	<u>Aromatische verb.</u>						
	benzeen	0,01	0,5	5	0,2	1	5
	ethylbenzeen	0,05	5	50	0,5	20	60
	tolueen	0,05	3	30	0,5	15	50
	xylenen	0,05	5	50	0,5	20	60
	fenolen	0,02	1	10	0,5	15	50
	aromaten (totaal)	0,1	7	70	1	30	100
IV	<u>Polycyclische kwst.</u>						
	naftaleen	0,1	5	50	0,2	7	30
	anthraceen	0,1	10	100	0,1	2	10
	fenanthreen	0,1	10	100	0,1	2	10
	fluorantheen	0,1	10	100	0,02	1	5
	pyreen	0,1	10	100	0,02	1	5
	benzo(a)pyreen	0,05	1	10	0,01	0,2	1
	PCK's (totaal)	1	20	200	0,2	10	40

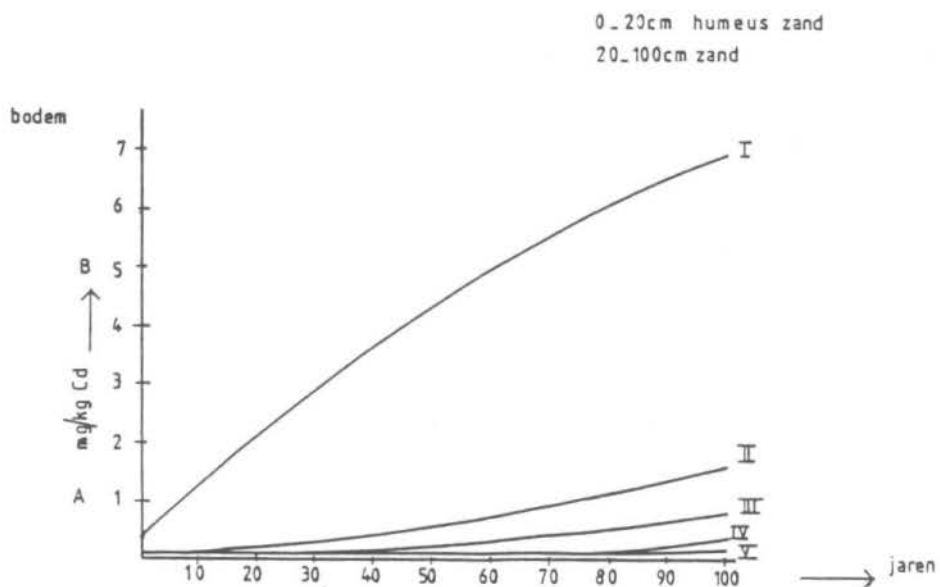
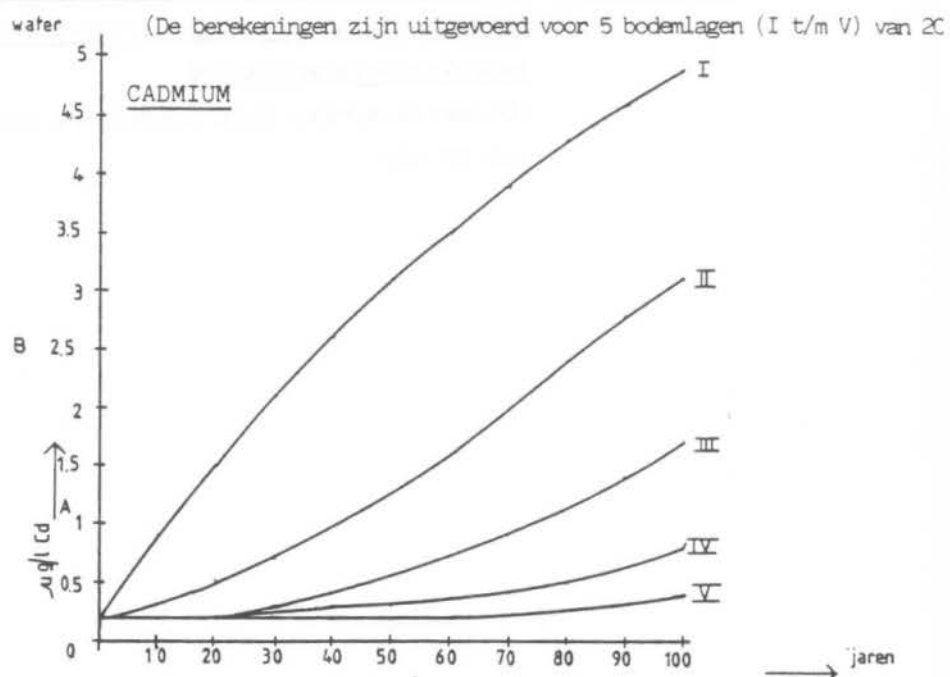
Voorkomen in:		Grond en slib(ppm(droge stof))			Ondiep grondwater (µg/l)		
Component/niveau		A	B	C	A	B	C
V	<u>Gechloreerde kwst</u>						
	alifatische chloor- kwst.(indiv.)	0,1	5	50	1	10	50
	alifatische chloor- kwst.(totaal)	0,1	7	70	1	15	70
	chloorbenzenen (indiv.)	0,05	1	10	0,02	0,5	2
	chloorbenzenen (totaal)	0,05	2	20	0,02	1	5
	chloorfenolen (indiv.)	0,01	0,5	5	0,01	0,3	1,5
	chloorfenolen (totaal)	0,01	1	10	0,01	0,5	2
	chloorpck's (totaal)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
	PCB's (totaal)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
	EOCl (totaal)	0,1	8	80	1	15	70
VI	<u>Bestrijdingsmiddelen</u>						
	organochloor- (indiv.)	0,1	0,5	5	0,05	0,2	1
	organochloor- (totaal)	0,1	1	10	0,1	0,5	2
	pesticiden (totaal)	0,1	2	20	0,1	1	5
VII	<u>Overige verontr.</u>						
	tetrahydrofuren	0,1	4	40	0,5	20	60
	pyridine	0,1	2	20	0,5	10	30
	tetrahydrothiofeen	0,1	5	50	0,5	20	60
	cyclohexanon	0,1	6	60	0,5	15	50
	styreen	0,1	5	50	0,5	20	60
	benzine	20	100	800	10	40	150
	minerale olie	100	1000	5000	20	200	600

De concentraties dienen beschouwd te worden in samenhang met de functie van de bodem en de lokale verontreinigingssituatie.

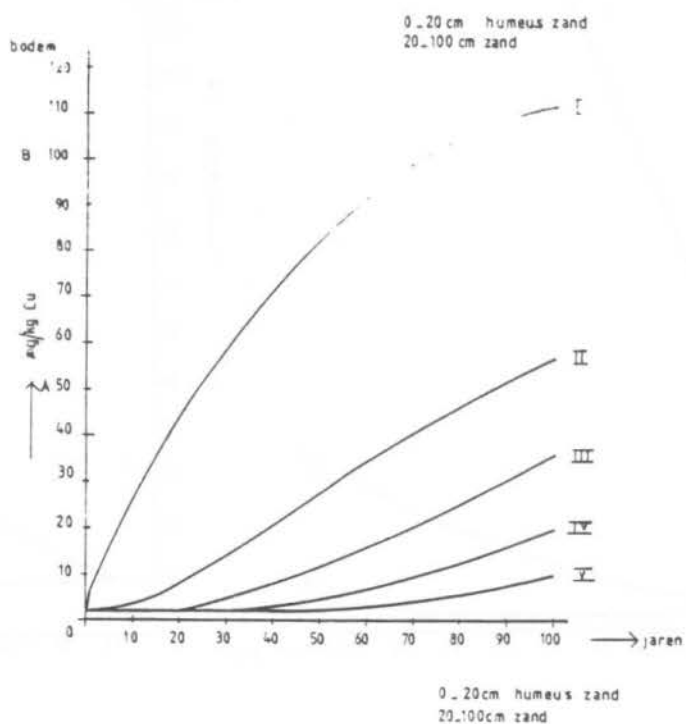
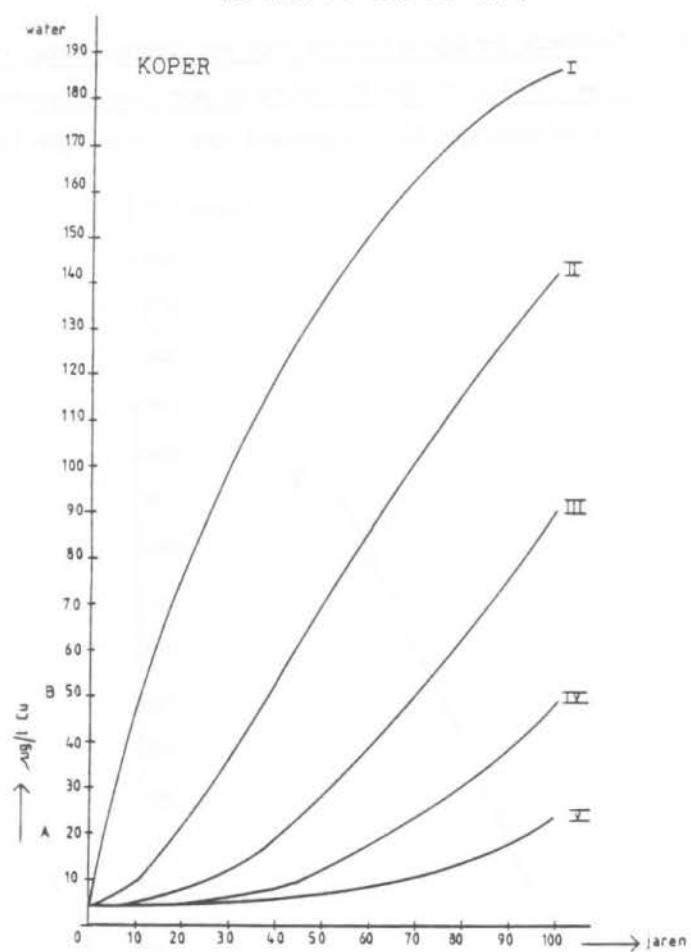
Bijlage V: Berekende concentraties voor een humeuze zandgrond (0-20 cm)
op een humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende
percolaat-concentraties

(De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V)
van 20 cm)

Bijlage V.1: Berekende cadmiumconcentraties voor een humeuze zandgrond (0-20 cm) op een humus zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties

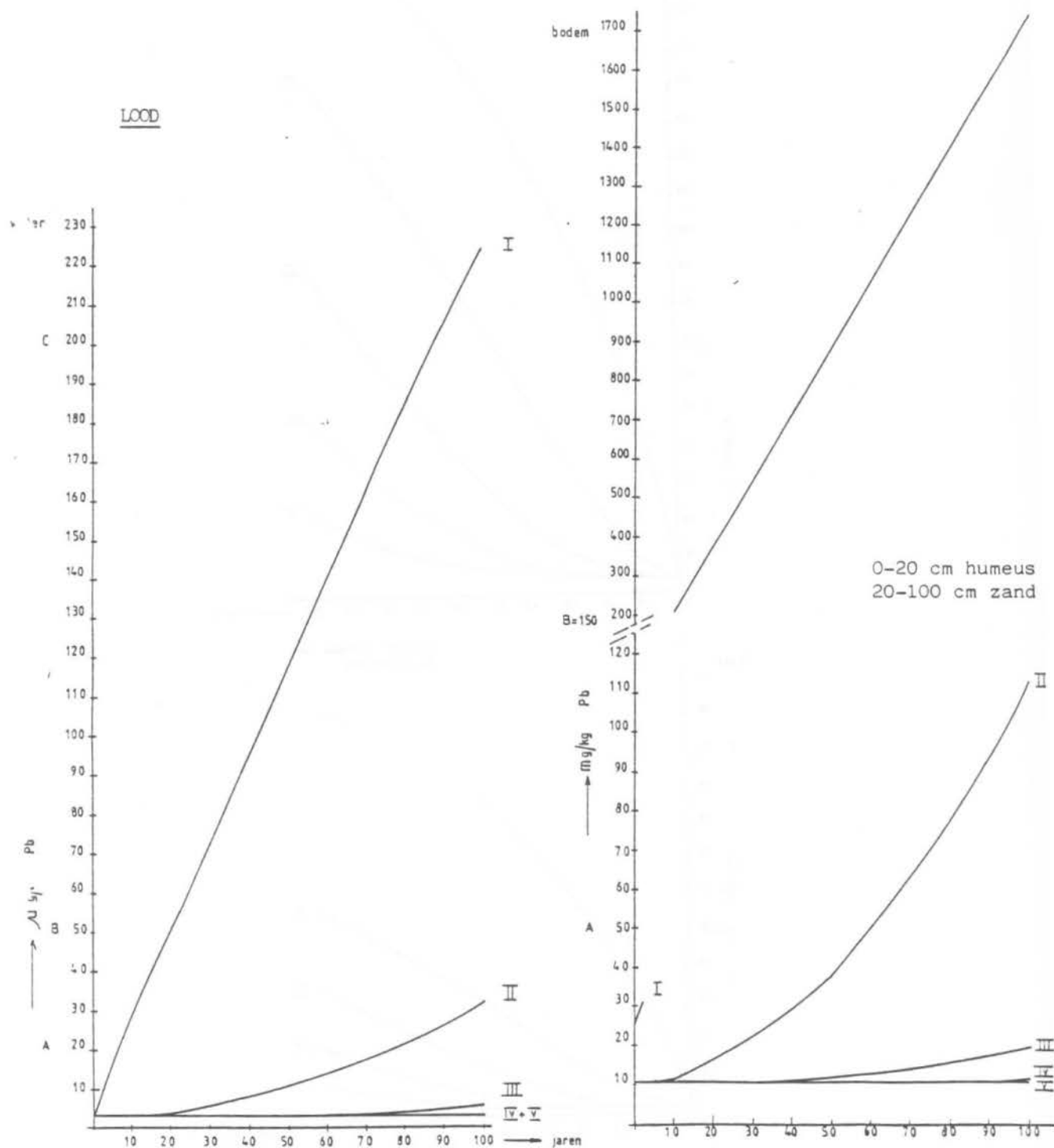


Bijlage V.2: Berekende koperconcentraties voor een humeuze zandgrond (0-20 cm) op een humus-arme zandgrond (20-100 cm) metbijbehorende percolaatconcentraties. (De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm)

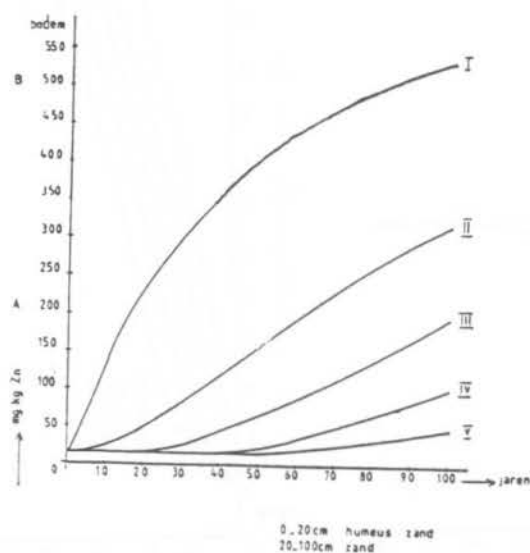
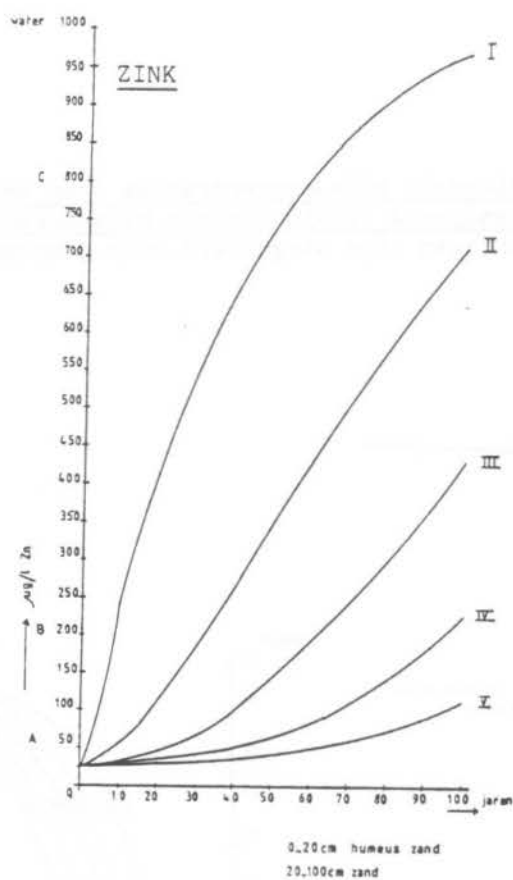


Bijlage V.3: Berekende loodconcentraties voor een humeuze zandgrond (0-20 cm) op een humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties

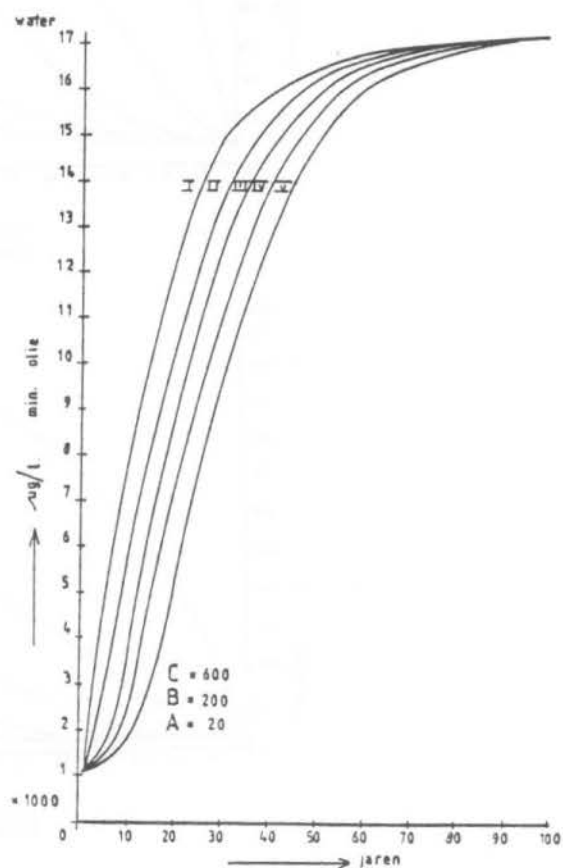
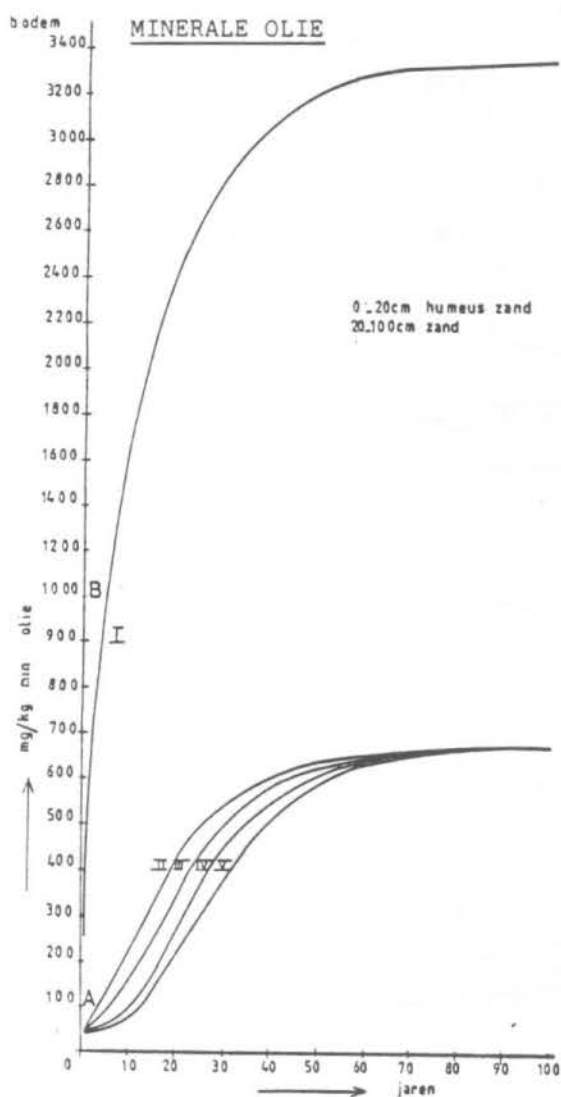
(De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm)



Bijlage V.4: Berekende zinkconcentraties voor een humeuze zandgrond (0-20 cm) op een humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties. (De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm.

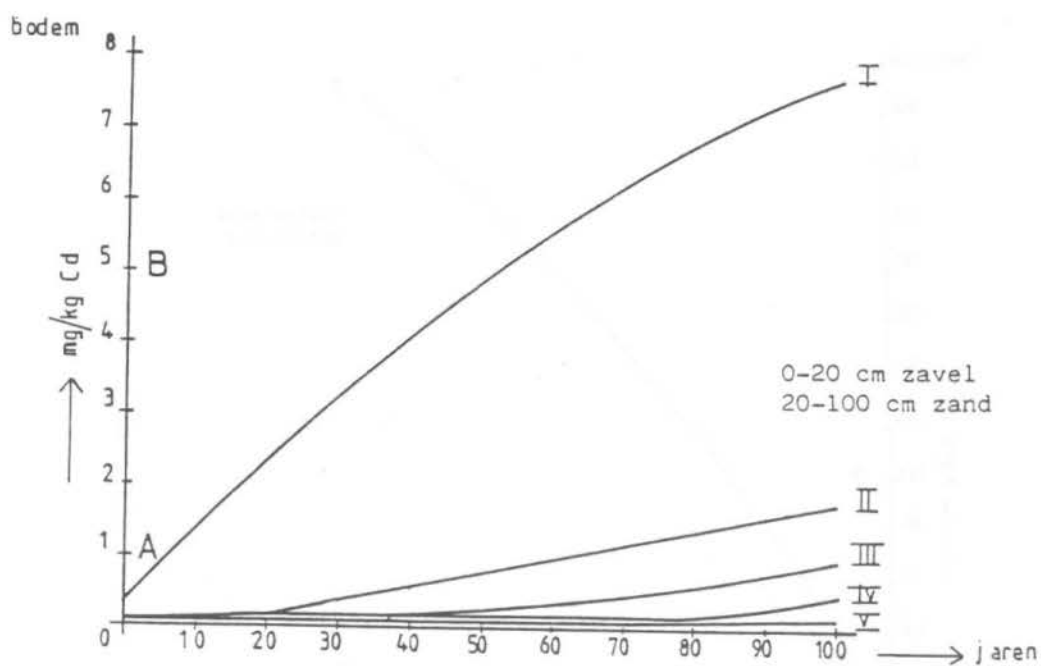
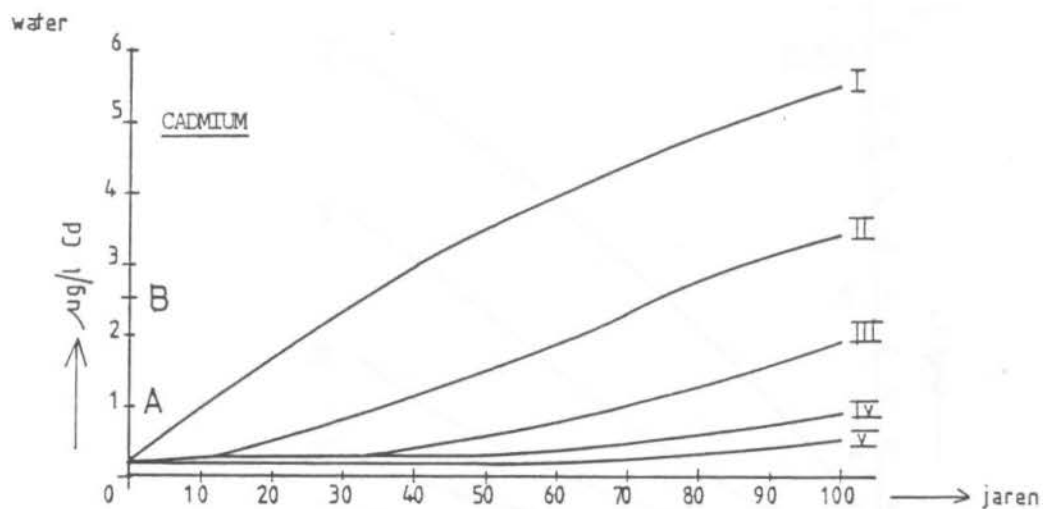


Bijlage V.5: Berekende minerale olie-concentraties voor een humeuze zandgrond
humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concent
 (De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van

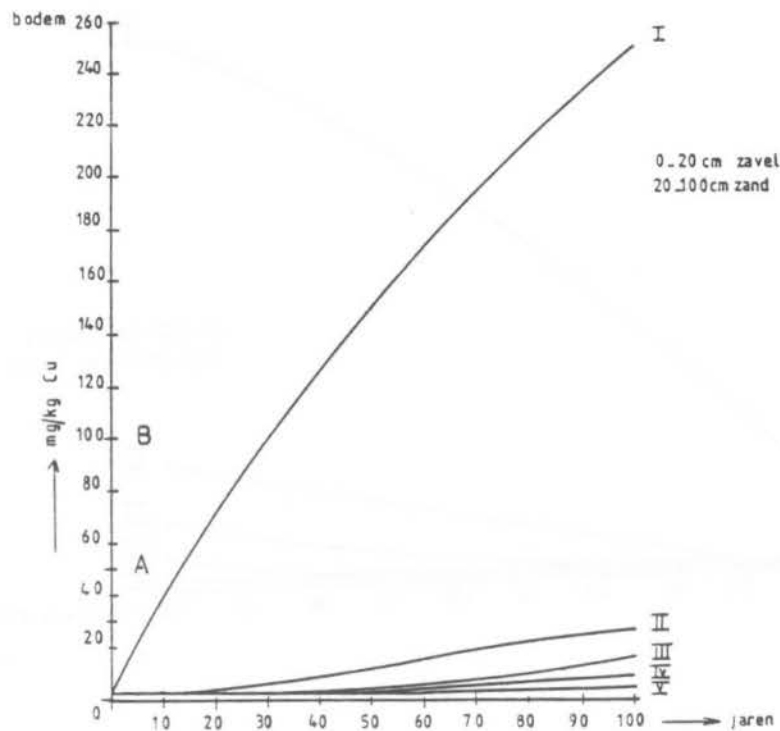
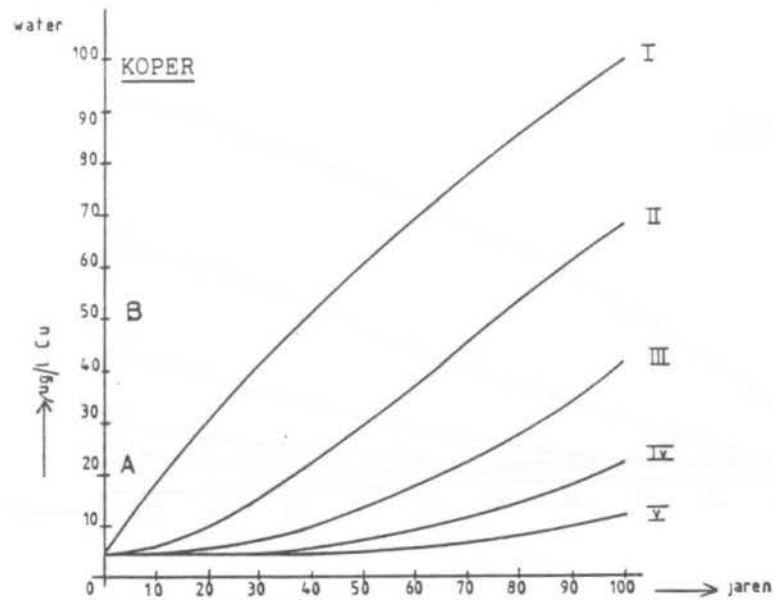


Bijlage V.6: Berekende cadmiumconcentraties voor een zavelgrond (0-20 cm) op een humus-
arme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties

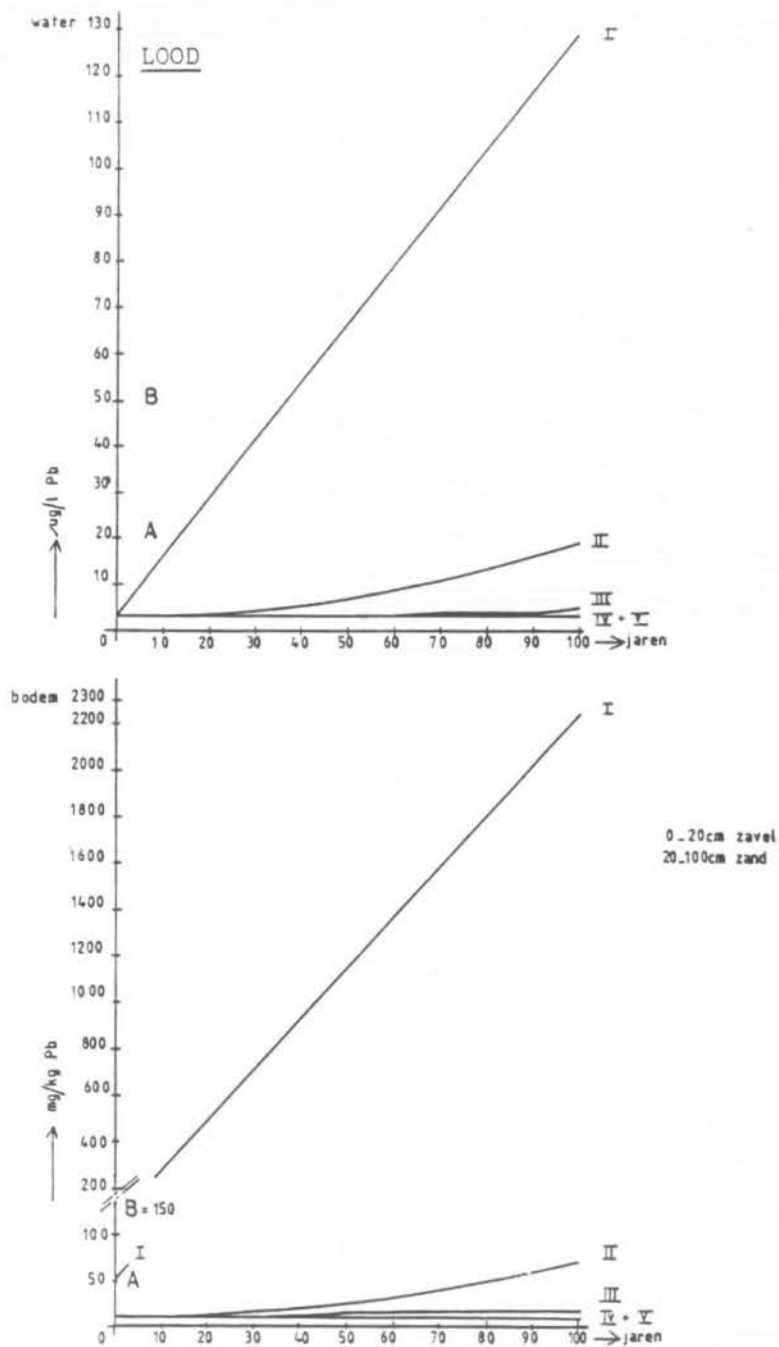
(De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm)



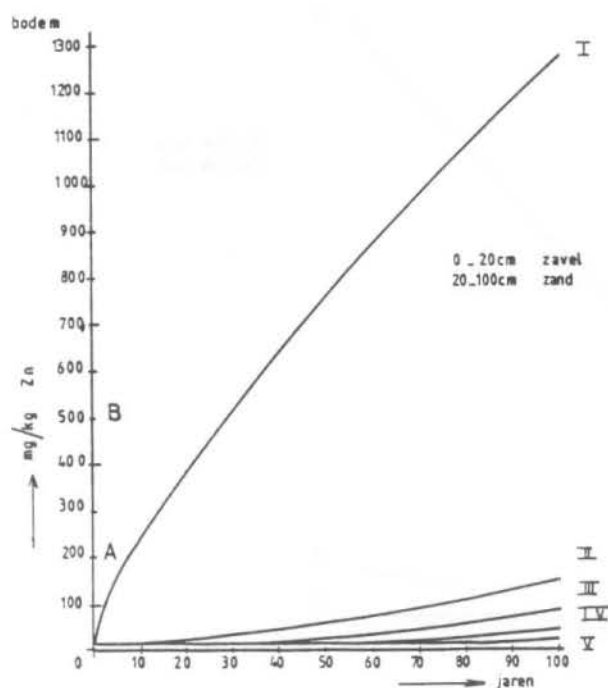
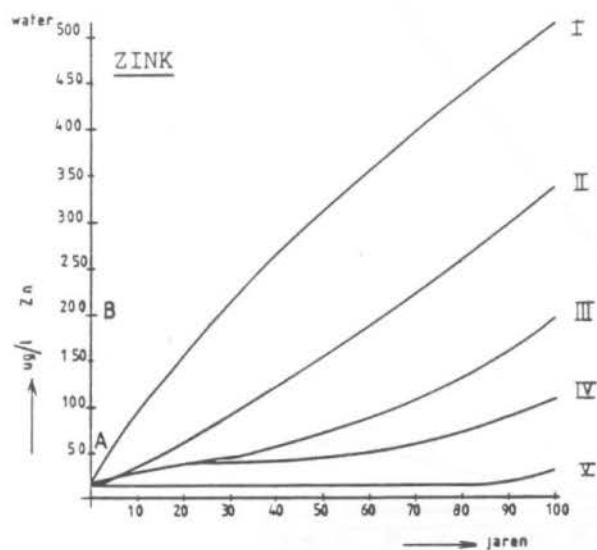
Bijlage V.7: Berekende koperconcentraties voor een zavelgrond (0-20 cm) op een humus-arme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-conce
(De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van



Bijlage V.8: Berekende loodconcentraties voor een zavelgrond (0-20 cm) op een humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties.
(De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm)



Bijlage V.9: Berekende zinkconcentraties voor een zavelgrond (0-20 cm) op een hu
zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties.
 (De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm)



Bijlage V.10: Berekende minerale olie-concentraties voor een zavelgrond (0-20 cm) op een humusarme zandgrond (20-100 cm) met bijbehorende percolaat-concentraties

(De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 bodemlagen (I t/m V) van 20 cm)

MINERALE OLIE

