Rendement en kosten behandeling Van afstromend wegwater

Achtergrondrapport bij CIW rapport ‘‘behandeling wegwater’’

eindrapport

Opdrachtgever: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling

Grontmij Advies & Techniek bv, adviesgroep Water
Houten, 9 december 1999 doc.: 13007390.BeLa/GL p.n.: 13.5693.1

@ Grontmij

Inhoudsopgave

1 Inleiding 5
1.1 Offerteverzoeki 5
1.2 Aanleiding en doel van het onderzoek 5
1.3 Globale opzet studie 5
1.4 Projectteam 5
1.5 Leeswijzer 5

2 Opzet van de studie 6
2.1 Onderzochte parameters 6
2.2 Opzet studie 6
2.3 Varianten 6
2.4 Bepaling inloop 8
2.5 Bepaling bezinkingsrendement 9
2.6 Infiltratie 11

3 Resultaten 12
3.1 Inleiding 12
3.2 Ontwerp voorzieningen 12
3.2.1 Riolering 12
3.2.2 Bezinkingsvoorzieningen 12
3.2.3 Infiltratievoorzieningen 12
3.3 Berekeningen zuiveringsrendement 13
3.3.1 Bezinkingsvoorzieningen 13
3.3.2 Infiltratievoorzieningen 15
3.4 Infiltratie via bestaande bermen 17
3.4.1 Inleiding 17
3.4.2 Toetsing bestaande bermen 17
3.4.3 Doorslagtermijn toplaag bij infiltratie 19
3.4.4 Criteria voor aanleg-/verbeteringsmaatregelen 22
3.4.5 Monitoringsprogramma 23
3.5 Kostenberekeningen 24
3.5.1 Stichtingskosten 24
3.5.2 Jaarlijkse kosten 25
3.6 Evaluatie functioneren voorzieningen 26
3.6.1 Inleiding 26
3.6.2 Vuilconcentraties in het geloosde water 26
3.6.3 Kosten per verwijderde kilogram metalen 27
3.6.4 Overige aspecten 27

4 Conclusies en aanbevelingen 28
4.1 Conclusies 28
4.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek 30

Referenties 31

Verantwoording

Bijlage 1: Effectiviteitsgrafieken
Bijlage 2: Situatieschets
Bijlage 3: Diameters riolen
Bijlage 4: Schets bezinkingsvoorziening
Bijlage 5: Schets infiltratievoorzieningen
Bijlage 6: Samenvatting resultaten
Bijlage 7: Infiltratie bestaande berm
Bijlage 8: Kosten
Bijlage 9: Berekeningen kwaliteitsaspecten bestaande berm

1 Inleiding

1.1 Offerteverzoek

Het RIZA heeft Grontmij Advies & Techniek bv bij brief met kenmerk 33400/EMD, d.d. 11 juni 1999 opdracht gegeven voor het uitvoeren van een aantal berekeningen ten behoeve van de CIW-subwerkgroep 'Afstromend wegwater'.

1.2 Aanleiding en doel van het onderzoek

De CIW subwerkgroep 'Afstromend wegwater' stelt aanbevelingen op voor de behandeling van het hemelwater dat van wegen stroomt.
Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de effectiviteit en kosten van de behandeling van runoff van wegen, dit ter onderbouwing van de aanbevelingen van de CIW subwerkgroep.

1.3 Globale opzet studie

In het kader van de studie zijn voor een aantal standaard situaties verschillende maatregelen voor de behandeling van het afstromende hemelwater onderzocht. De maatregelen betreffen het gebruik van bezinkings- en infiltratievoorzieningen. Berekend zijn het verwijderingsrendement voor zware metalen en de jaarlijkse kosten voor de aanleg en het beheer van de voorzieningen. Op deze wijze is een beeld ontstaan van de effectiviteit en rentabiliteit van de maatregelen.
De beschreven zware metalen in dit rapport zijn koper (Cu), lood (Pb) en zink (Zn). De gebruikte bezinkingseigenschappen van deze metalen zijn afkomstig uit het rapport 'Behandeling afstromend wegwater van snelwegen' (RIZA, 1996). Van PAK's zijn weinig bezinkingseigenschappen bekend, hierover worden alleen indicatief uitspraken gedaan. De oliegehalten in het afstromende wegwater zijn zo laag dat deze met olieafscheidingsapparatuur niet goed verwijderd kunnen worden en zijn buiten beschouwing gelaten.

1.4 Projectteam

Het rapport is opgesteld door ing. G.B. Lemmen, drs. T. van Mossevelde en drs.ing. P. Schipper van Grontmij Advies & Techniek bv. Het project is namens het RIZA begeleid door drs. R.P.M. Berbee en drs. R.J.M. Teunissen.

1.5 Leeswijzer

In het tweede hoofdstuk wordt de opzet van de studie beschreven. De verschillende varianten worden aangegeven en het inloopmodel, de bezinkingsrendementen en het infiltratierendement worden beschreven. De resultaten van de studie worden gegeven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

2 Opzet van de studie

2.1 Onderzochte parameters

De berekeningen van de vuilreductie vinden plaats voor de metalen koper, lood en zink. De uitgangspunten hiervoor zijn afkomstig uit 'Behandeling afstromend wegwater van snelwegen' (RIZA, 1996). Voor de bezinkingseigenschappen van metalen is gebruik gemaakt van de effectiviteitsgrafieken op pag. 35 en 36 van de RIZA-nota. De grafieken zijn het resultaat van metingen aan een DAB- en ZOAB-autosnelweg. Er zijn geen andere gegevens bekend over de bezinkingseigenschappen van verontreinigingen in afstromend wegwater. In deze studie wordt aangenomen dat de meetgegevens van de DAB-autosnelweg ook representatief zijn voor een DAB-provinciale weg. De grafieken zijn weergegeven in bijlage 1.
Voor de concentraties in het afstromende water is uitgegaan van de mediane gehalten van de drie in de RIZA-nota onderzochte metalen. Deze zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Concentraties in afstromend wegwater

	concentratie in µg/l	
parameters	provinciale weg DAB[1]	autosnelweg ZOAB
koper	121	40
lood	93	7
zink	452	47
totaal	**666**	**94**

[1] *vrij sterk vervuilde weg*

2.2 Opzet studie

De studie bestaat uit de volgende stappen:

1. definitie varianten;
2. bepalen inloop voor de verschillende varianten;
3. voor de beschreven situaties is het bezinkingsrendement bepaald op basis van een 25-jarige simulatie en de methode 'Kluck' (Kluck, 1997);
4. voor de infiltratievoorzieningen is het verwijderingsrendement bepaald op basis van literatuurgegevens;
5. de kosten van de voorzieningen is bepaald op basis de jaarlijkse lasten. Hierbij wordt rekening gehouden met investering, levensduur en onderhoud;
6. op basis van voorgaande activiteiten is de rentabiliteit ofwel de kosten per verwijderde kilogram van de voorzieningen bepaald;
7. de wijze waarop het afstromende wegwater kan worden geïnfiltreerd, is nader toegelicht.

In de volgende paragrafen zijn de stappen nader uitgewerkt.

2.3 Varianten

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit en kosten van de behandeling van runoff van wegen, zijn voor een aantal representatieve voorbeeldsituaties globaal bezinkings- en infiltratievoorzieningen gedimensioneerd.

De onderzochte situaties zijn:

- wegtype
  - een tweebaans provinciale weg voorzien van DAB, met een breedte van 7,5 m;
  - een autosnelweg voorzien van ZOAB: uitgegaan wordt van één zijde van de weg bestaande uit twee rijstroken en een vluchtstrook met een totale breedte van 11,4 m;
- lengte van de wegvakken
  - voor zowel de provinciale als voor de snelweg wordt uitgegaan van gerioleerde wegvakken met een lengte van 250, 500 en 750 m;
- type voorzieningen
  - bezinkingsvoorzieningen: voor alle wegvakken worden de volgende bezinkingsvoorzieningen gedimensioneerd:
    - open voorzieningen (vijvers);
    - gesloten betonnen bezinkingsunits;
  - infiltratievoorzieningen: voor het wegvak met een lengte van 500 m worden de volgende infiltratievoorzieningen berekend:
    - infiltratiestroken in de bermen;
    - centrale infiltratievoorziening met voorafgaand een open bezinkingsvoorziening;
- grootte voorzieningen
  - voor de bezinkingsvoorzieningen (open en gesloten) worden per situatie drie varianten van verschillende grootte berekend;
  - voor de infiltratievoorziening wordt steeds één variant gedimensioneerd.

Als extra variant is infiltratie via de wegberm opgenomen. Het verschil met een infiltratiestrook in de berm is dat geen speciale voorzieningen worden getroffen in de vorm van een ondergrondse infiltratiekoffer of een drain. Van deze variant zijn de volgende aspecten onderzocht. Op basis van beschikbare gegevens is nagegaan in hoeverre de bestaande bermen geschikt zijn voor en reeds dienst doen als infiltratievoorziening. Aangegeven is welke maatregelen mogelijk zijn om de bestaande wegbermen zo goed mogelijk als infiltratievoorziening te laten functioneren. Hiervoor is een kostenberekening gemaakt en een analyse van de rentabiliteit op basis van geschatte gegevens van de werking van de voorziening. Tenslotte worden aanbevelingen voor de monitoring en het beheer gegeven.

In tabel 2 zijn de varianten van de bezinkingsvoorzieningen weergegeven.

Tabel 2 Varianten bezinkingsvoorzieningen

lengte wegvak	grootte bassin	open voorziening		gesloten voorziening	
		provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
	klein	OD250-1	OZ250-1	GD250-1	GZ250-1
250 m	gemiddeld	OD250-2	OZ250-2	GD250-2	GZ250-2
	groot	OD250-3	OZ250-3	GD250-3	GZ250-3
	klein	OD500-1	OZ500-1	GD500-1	GZ500-1
500 m	gemiddeld	OD500-2	OZ500-2	GD500-2	GZ500-2
	groot	OD500-3	OZ500-3	GD500-3	GZ500-3
	klein	OD750-1	OZ750-1	GD750-1	GZ750-1
750 m	gemiddeld	OD750-2	OZ750-2	GD750-2	GZ750-2
	groot	OD750-3	OZ750-3	GD750-3	GZ750-3

De verklaring van de codes voor de bezinkingsvoorzieningen is als volgt:

1e letter:	O = open voorziening
	G = gesloten voorziening
2e letter:	D = DAB (provinciale weg)
	Z = ZOAB (autosnelweg)
getal:	lengte wegvak (250, 500 of 750 m)
cijfer:	-1 = kleine voorziening (circa 1,5 - 2 mm t.o.v. afvoerend oppervlak)
	-2 = gemiddelde voorziening (circa 2 - 4 mm t.o.v. afvoerend oppervlak)
	-3 = grote voorziening (circa 8,5 - 10 mm t.o.v. afvoerend oppervlak)

Er wordt aangenomen dat het vuilreducerende rendement van de infiltratievoorzieningen niet afhankelijk is van de grootte van de voorziening. Om deze reden wordt er per variant niet gerekend met meerdere afmetingen. De voorziening wordt gedimensioneerd op basis van hydraulische uitgangspunten. Wel wordt onderscheid gemaakt tussen infiltratie rechtstreeks in de berm en infiltratie in een centrale voorziening. In tabel 3 zijn de varianten weergegeven.

Tabel 3 Varianten infiltratievoorzieningen

lengte wegvak	infiltratie in berm		centrale infiltratievoorziening	
	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
500	BD500	BZ500	CD500	CZ500

De verklaring van de codes voor de infiltratievoorzieningen is als volgt:

1e letter:	B = infiltratie in berm
	C = centrale infiltratievoorziening
2e letter:	D = DAB (provinciale weg)
	Z = ZOAB (autosnelweg)
getal:	lengte wegvak (500 m)

2.4 Bepaling inloop

De hoeveelheden afstromend regenwater zijn bepaald door de weg en de riolering te schematiseren als een bakmodel in het programma NIVO/GM. NIVO/GM simuleert overstortingen uit rioolstelsels en randvoorzieningen met een rioleringsmodel op basis van een meerjarige neerslagreeks (continue simulatie). Het model wordt conform module C2100 van de Leidraad Riolering (Stichting Rioned) belast met de regenreeks 'De Bilt 1955-1979'.

Voor het bepalen van de hoeveelheden afstromend regenwater is onderscheid gemaakt tussen de provinciale weg met DAB-verharding en de autosnelweg met ZOAB-verharding. Uit het rapport 'Behandeling afstromend wegwater van snelwegen'(RIZA, 1996) blijkt dat van DAB gemiddeld 75% van de neerslag tot afstroming komt. Door het grote percentage holle ruimten komt van ZOAB slechts 25% tot afstroming. Het niet afstromende regenwater wordt geborgen in de poriën en verdampt vervolgens.

Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van het inloopmodel volgens C2100 van de Leidraad Riolering (Stichting Rioned). De standaard parameters van het inloopmodel voor 'berging op straat' geven voor gesloten verharding een aanzienlijk grotere inloop te zien, dan bij DAB of ZOAB gemeten. Om deze reden zijn de parameters aangepast totdat de gemiddelde inloop van 75% respectievelijk 25% is bereikt. Deze pragmatische aanpak levert naar verwachting een voldoende betrouwbare debietsverdeling op. De parameters voor het inloopmodel zijn in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4 Parameters inloopmodel

	afstromings-vertraging [1/min]	oppervlakte-berging [mm]	verliesfactor [mm.h^{-1}] max.	min.
provinciale weg DAB	0,2	1,5		
autosnelweg ZOAB	0,1	5,0	0,2	0,2

Een afstromingsvertraging van 0,2/min houdt in dat per minuut 20% van de op het oppervlak geborgen hoeveelheid neerslag tot afstroming komt. De oppervlakteberging is een maat voor de berging in de poriën van het asfalt. Deze is bij ZOAB aanzienlijk groter dan bij DAB. De gemiddelde verdamping per maand is standaard in het model opgenomen. De verliesfactor bij ZOAB representeert de extra verdamping die door het grotere inwendige oppervlak bij ZOAB optreedt.

Met het inloopmodel komen kleine buien en buien met een geringe intensiteit slechts in geringe mate tot afstroming. Bij grote buien en buien met een hevige intensiteit zijn de inloopverliezen relatief beperkt.

2.5 Bepaling bezinkingsrendement

De bezinkingseigenschappen van koper, lood en zink zijn beschreven in de RIZA-nota (RIZA, 1996). Deze gegevens zijn in een aantal stappen omgezet voor toepassing in het rioleringsmodel. In tabel 5 is de omzetting weergegeven.

Tabel 5 Bezinkingseigenschappen

	provinciale weg DAB				autosnelweg ZOAB			
1	verwijderde vuilconcentratie bij bezinksnelheid in m/h				verwijderde vuilconcentratie bij bezinksnelheid in m/h			
	0	0,5	1,5	3	0	0,5	1,5	3
koper	75%	45%	22%	8%	26%	20%	11%	5%
lood	95%	70%	35%	12%	75%	58%	34%	15%
zink	60%	40%	22%	8%	24%	18%	9%	4%
2	vuilconcentratie per fractie bij bezinksnelheid in m/h				vuilconcentratie per fractie bij bezinksnelheid in m/h			
	niet bezink.	0-0,5	0,5-1,5	>1,5	niet bezink.	0-0,5	0,5-1,5	>1,5
koper	25%	30%	23%	22%	74%	6%	9%	11%
lood	5%	25%	35%	35%	25%	17%	24%	34%
zink	40%	20%	18%	22%	76%	6%	9%	9%
3	invoergegevens NIVO/GM bij bezinksnelheid in m/h				invoergegevens NIVO/GM bij bezinksnelheid in m/h			
	bezink baar	0,25	1	3	bezink baar	0,25	1	3
koper	75%	40%	31%	29%	26%	23%	35%	42%
lood	95%	26%	37%	37%	75%	23%	32%	45%
zink	60%	33%	30%	37%	24%	25%	38%	38%

In stap 1 zijn de resultaten van de bezinkproeven weergegeven. Ter illustratie: 75% van het koper in het water is gebonden aan deeltjes met een bezinkingssnelheid groter dan 0 m/h en is dus bezinkbaar. 45% van het koper is gebonden aan deeltjes met een bezinkingssnelheid groter dan 0,5 m/h.

In stap 2 is een onderscheid gemaakt in een aantal fracties: 25% van het koper is niet bezinkbaar (100%-75%). De fractie met een bezinksnelheid tussen 0 en 0,5 m/h bedraagt 30% (75%-45%).

In stap 3 zijn de invoergegevens voor het rioleringsmodel NIVO/GM weergegeven. Uitgegaan is van fracties met een bezinksnelheid van 0,25, 1 en 3 m/h. De percentages bij deze bezinksnelheden hebben alleen betrekking op de verdeling over de bezinkbare fractie! Het percentage bezinkbare stoffen is apart aangegeven.
De debieten uit de riolering zijn voor de berekende 25-jarige periode geanalyseerd. De optredende debieten zijn tussen het minimum en maximum optredende debiet in 40 stappen onderverdeeld. Per debiet is het bezinkingsrendement bepaald voor de fracties met een bezinksnelheid van 0,25, 1 en 3 m/h.
Op basis van de verdeling van de bezinkbare fracties en het volume water dat per debiet wordt geloosd, kan het totale bezinkingsrendement per parameter worden bepaald.

Het bezinkingsrendement wordt bepaald met behulp van de onderzoeksgegevens uit Kluck (Kluck, 1997). In dit onderzoek is met behulp van modelsimulaties het bezinkingsgedrag van bergbezinkbassins bestudeerd. Hierbij zijn grafieken opgesteld waarmee het bezinkingsrendement kan worden bepaald op basis van een aantal variabelen. Het bezinkingsrendement is afhankelijk van de afmetingen van het bassin, de bezinkingseigenschappen van de verontreinigingen en de stroomsnelheden. In Tabel 6 is een voorbeeld opgenomen van de resultaten van de berekeningen.

Tabel 6 Berekening bezinkingsrendement

volume (%)		Qgem	opp.belasting	V_0	τ_{max}	0,25	1	3	0,25	1	3
	cumulatief	(l.s-1)	(m/h)	(m/s)	(N/m2)	R(%)	R(%)	R(%)	R(%)	R(%)	R(%)
20,00	20,00	8,00	2,35	0,006	0,001	8,67	36,40	80,18	1,73	7,28	16,04
50,00	70,00	15,00	4,41	0,011	0,001	4,28	19,61	54,19	2,14	9,81	27,10
30,00	100,00	23,00	6,76	0,018	0,003	2,63	12,45	37,84	0,79	3,73	11,35
Gewogen rendement R									4,66	20,82	54,49
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)

De kolommen (1) en (2) geven het percentage water aan over een periode van 25 jaar dat in de voorziening stroomt met een bepaald debiet. Dit debiet is in (3) weergegeven. De oppervlaktebelasting, snelheid en schuifspanning in de bezinkingsvoorziening zijn in de kolommen (4), (5) en (6) weergegeven. In (7) is het bezinkingsrendement berekend voor deeltjes met een bezinkingssnelheid van 0,25 m/h, bij de betreffende debieten. In (8) en (9) is dit voor deeltjes met een bezinkingssnelheid van respectievelijk 1 en 3 m/h weergegeven. In de laatste drie kolommen is het relatieve bezinkingsrendement weergegeven. Hierbij wordt het rendement vermenigvuldigd met het percentage water uit kolom 1. 8,67% Van de deeltjes met een bezinkingssnelheid van 0,25 m/h bezinken bij een debiet van 8 l/s. 20% Van het water loost met dit debiet. 8,67*20%=1,73%. Deze percentages worden vervolgens opgeteld.

Hieruit volgt dat 4,66% van de deeltjes met een bezinkingssnelheid van 0,25 m/h bezinkt (10). Onder (11) en (12) is het gesommeerde bezinkingsrendement voor deeltjes met een bezinkingssnelheid van respectievelijk 1 en 3 m/h opgenomen. In tabel 7 is voor een fictieve verdeling van de verontreinigingen het totale bezinkingsrendement bepaald.

Tabel 7 Berekening totaal bezinkingsrendement

bezinkingssnelheid [m/h]	percentage verontreinigingen	bezinkingsrendement per klasse	gewogen bezinkingsrendement
0,25	40%	4,66%	1,86%
1,00	30%	20,82%	6,25%
3,00	30%	54,49%	16,35%
totaal	100%		24,46%

2.6 Infiltratie

De infiltratievoorzieningen worden geschematiseerd als een bak met een zekere inhoud. Bij de ontworpen infiltratievoorzieningen representeert de inhoud van de bak de inhoud van de greppel. Bij infiltratie via de berm is geen sprake van een bewust gecreëerde berging. Wel is sprake van een geringe berging door oneffenheden van het terrein. De infiltratiecapaciteit van de greppel wordt als een vaste afvoer uit de bak meegenomen. Als de bak volledig gevuld is, kan het overtollige water via een overstort wegstromen.

De zuiveringsrendementen van een infiltratievoorziening is voor koper 99%, voor lood 97% en voor zink 90%. Deze waarden zijn afkomstig uit het rapport 'Voorzuivering infiltratievoorziening, 't Cranevelt te Arnhem' (Grontmij, 1999). In dit rapport zijn zuiveringsrendementen bepaald door middel van een kolomproef met bodemmateriaal uit een infiltratievoorziening.

De concentraties metalen zijn gelijk aan de concentraties waarmee is gerekend bij de bezinkingsvoorzieningen.

3 Resultaten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op het ontwerp van de riolering, bezinkings- en infiltratievoorzieningen, het zuiveringsrendement en de kostenberekeningen. Afgesloten wordt met een evaluatie van het functioneren van de voorzieningen.

3.2 Ontwerp voorzieningen

3.2.1 Riolering

Bij alle varianten, met uitzondering van de decentrale infiltratievoorzieningen, wordt riolering aangelegd. Aangenomen is dat aan beide zijden van de weg een riool ligt. Aangezien slechts één helft van de autosnelweg in beschouwing is genomen, wordt in dat geval gerekend met één rioolstreng. In bijlage 2 is een schets opgenomen van de situaties.

De riolering is ontworpen op een intensiteit van 167 $l.s^{-1}.ha^{-1}$. Deze waarde is afkomstig uit 'Handleiding wegenbouw. Ontwerp Hemelwaterafvoer' (RWS, 1988). Om de afvoercapaciteit van een afvoerstelsel te berekenen wordt aanbevolen om uit te gaan van 167 $l.s^{-1}.ha^{-1}$ indien er niet voldoende opvang naast de wegverharding aanwezig is of indien er gevaar voor uitspoeling van bermen en taluds bestaat. Er is geen onderscheid gemaakt tussen DAB en ZOAB. Dit is verdedigbaar, aangezien wegen in veel gevallen in eerste instantie een DAB-wegdek krijgen en pas in tweede instantie een ZOAB-wegdek. Bij de maatgevende intensiteit is uitgegaan van een hydraulisch verhang van maximaal 3‰.

De berekende diameters zijn in bijlage 3 opgenomen.

3.2.2 Bezinkingsvoorzieningen

De open bezinkingsvoorzieningen zijn zeer eenvoudig uitgevoerd, in de vorm van een grasbassin met een waterdicht folie. Het water stroomt vanuit de aanvoerleiding via een bodembeschermingsconstructie de voorziening in. Het water verlaat de voorziening via een put met een overstortdrempel en een afvoerriool. Dit is de eenvoudigste vorm van een bezinkingsvoorziening.

De gesloten voorziening bestaat uit een betonnen bak, die is opgebouwd uit duikerprofielen. Ook deze uitvoering is eenvoudig. Bij het ontwerp en de kostenraming is uitgegaan van handmatige reiniging van de bakken.

De lengte-/breedteverhouding van zowel de open als gesloten voorziening bedraagt in alle gevallen 4:1. De mate van bezinking wordt voor een groot deel bepaald door de oppervlaktebelasting. Dit is het debiet gedeeld door het bodemoppervlak. Per variant zijn drie voorzieningen met verschillende bodemoppervlakken berekend. De hoogte is minder belangrijk voor het bezinkingsproces. Wel is het gewenst dat de stroomsnelheden beperkt blijven, met het oog op opwoeling van reeds bezonken slib. De hoogtes van de verschillende voorzieningen zijn zodanig gekozen dat de stroomsnelheden beperkt blijven.

In bijlage 4 is een principeschets van de voorzieningen opgenomen.

3.2.3 Infiltratievoorzieningen

De decentrale infiltratievoorziening bestaat uit greppels in de wegberm met daaronder een grindkoffer en een drain. De greppels liggen direct langs de kant van de weg en zijn

maximaal 0,10 m diep om problemen met voertuigen te voorkomen in het geval dat deze in de berm terechtkomen. Het talud van de voorziening is maximaal 1:3 zodat machinaal maaien nog mogelijk is. Gedacht kan worden aan een glooiend profiel. Uit oogpunt van verkeersveiligheid is overigens wellicht een flauwer talud wenselijk.
De afmetingen van de greppel is zodanig gekozen dat de greppel door regenval gemiddeld 1 keer per 3 jaar volledig gevuld raakt. Op dat moment treedt een overstort in werking, waardoor het overschot aan regenwater rechtstreeks op de bermsloot wordt geloosd. Het oppervlak van de voorziening is bij de provinciale weg (DAB) 12% van het verharde oppervlak. De ledigingstijd bedraagt hierbij circa 8 uur. De afstroming van een autosnelweg (ZOAB) is een factor 3 kleiner dan van een provinciale weg (DAB). De voorziening is hierdoor ook een factor 3 kleiner.

De centrale infiltratievoorziening bestaat uit aanvoerriolen, een bezinkingsvoorziening en een infiltratieveld met een infiltratiekoffer en een drain.
Het infiltratieveld is 0,20 m diep. De grootte van het infiltratieveld is 10% van het verharde oppervlak. Hierbij raakt de voorziening 1 keer per 3 jaar volledig gevuld. De ledigingstijd bedraagt dan 10 uur. Evenals bij de decentrale voorziening is de centrale voorziening bij de autosnelweg een factor 3 kleiner dan bij de provinciale weg.

Bij een goed doorlatend wegcunet en een goed doorlatende ondergrond, is de aanleg van een ondergrondse grindkoffer en een drain niet noodzakelijk. De kosten van de voorziening wordt hierdoor aanzienlijk gereduceerd. Dit heeft geen invloed op de verwijderingscapaciteit van verontreinigingen, aangezien deze voornamelijk in de toplaag worden gebonden. Deze variant lijkt sterk op het infiltreren in de bestaande berm die in §2.6 nader is beschreven. Het verschil is dat bij de infiltratievoorziening door middel van een verlaging in het maaiveld berging wordt gecreëerd. Bij infiltratie in de bestaande berm is er geen berging en zal bij hevige regenval het water zich over een groter oppervlak verspreiden en uiteindelijk rechtstreeks afstromen naar de bermsloot.

In bijlage 5 zijn principeschetsen opgenomen van de voorzieningen.

3.3 Berekeningen zuiveringsrendement

3.3.1 Bezinkingsvoorzieningen

Rendement voor koper, lood en zink
De bezinkbaarheid van de metalen verschilt sterk per metaal en per type wegdek. In tabel 8 zijn de fracties bezinkbare delen weergegeven.

Tabel 8 Bezinkbare fracties

	Provinciale weg DAB	Autosnelweg ZOAB
koper	75%	26%
lood	95%	75%
zink	60%	24%
totaal (gewogen gemiddelde)	68%	29%

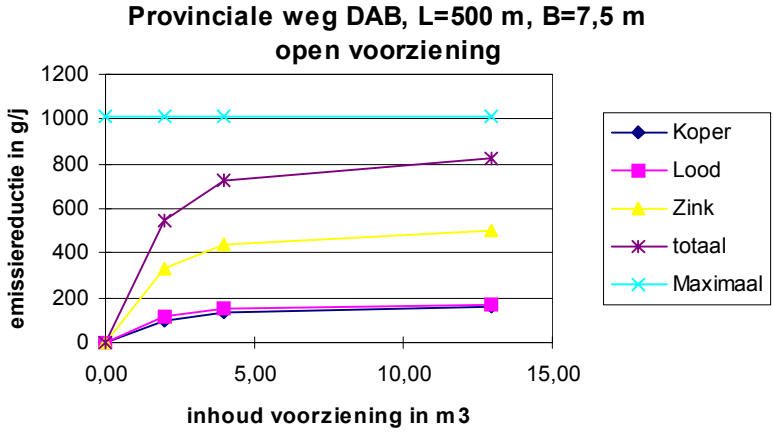
Uit tabel 8 blijkt dat het percentage bezinkbare delen bij ZOAB aanzienlijk lager ligt dan bij DAB. Ter illustratie: met een bezinkingsvoorziening is bij ZOAB de metalenconcentratie nog met maximaal 29% te reduceren. Bij DAB is dit 68%.

De resultaten van alle berekeningen zijn in bijlage 6 opgenomen.

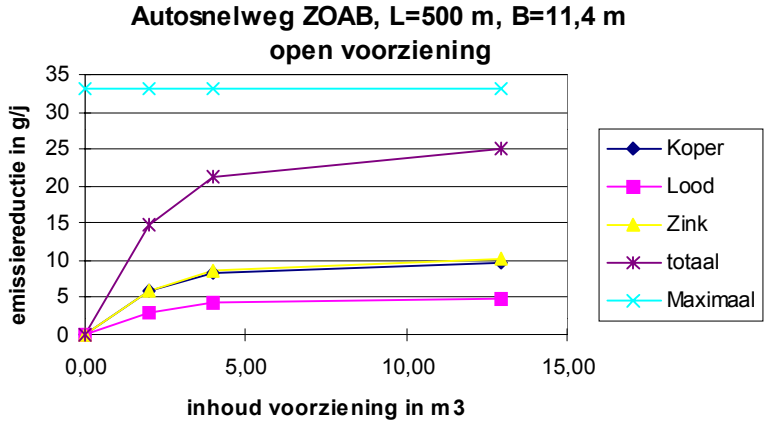
De inhoud van de berekende bezinkingsvoorzieningen varieert van circa 1 tot 10 mm. Op basis van een globale berekening is vastgesteld bij welke afmetingen ongeveer het maximale bezinkingsrendement wordt behaald. Dit punt is als referentie ook in de resultaten weergegeven.

Ter illustratie zijn voor een open voorziening bij DAB en ZOAB twee grafieken met resultaten weergegeven

In de grafieken is op de x-as de inhoud van de voorziening weergegeven. Op de y-as staat de emissiereductie ten gevolge van bezinking in gram metalen per jaar. De y-assen van de grafieken in figuur 1 en figuur 2 en hebben een verschillende schaal.



Figuur 1 Voorbeeld resultaten bezinkingsvoorziening bij DAB



Figuur 2 Voorbeeld resultaten bezinkingsvoorziening bij ZOAB

Uit de figuren 1 en 2 blijkt dat het bezinkingsrendement boven een inhoud van circa 4 m^3 (de middelste variant) nog maar langzaam stijgt. Dit komt overeen met een inhoud van circa 2 mm. Het bezinkingsrendement bedraagt dan 60-70% van het maximaal haalbare zuiveringsrendement.

De gesloten voorzieningen zijn uit constructieve overwegingen in vergelijking met de open voorzieningen relatief hoog. Dit betekent dat bij voorzieningen met dezelfde inhoud, de open voorziening een lagere oppervlaktebelasting heeft en dus een beter bezinkingsrendement.

Bypass
Bij de berekening van de bezinkingsvoorzieningen is ervan uitgegaan dat de voorzieningen volledig gevuld zijn en dat het uitloopdebiet altijd gelijk is aan het inloopdebiet. Dit betekent dat ook bij hevige regenval al het water door de voorziening stroomt. Een bypass kan gewenst zijn als hoge stroomsnelheden optreden waardoor het gevaar bestaat van opwoeling van slib. Bij de onderzochte varianten blijven ook bij de hoogste debieten de stroomsnelheden bijna altijd lager dan 0,10 $m.s^{-1}$. Bij deze snelheden wordt nog geen opwoeling verwacht. De exacte snelheid waarboven opwoeling optreedt is overigens niet goed te bepalen.

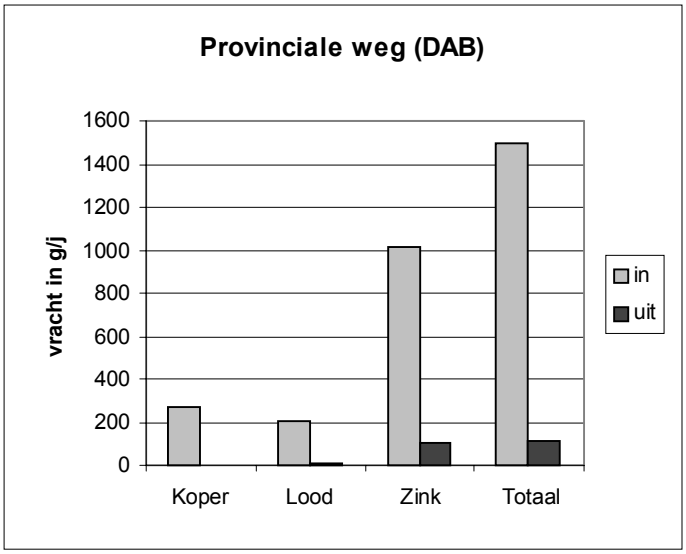
Bij voorzieningen, kleiner dan 1 mm, kunnen wel relatief hoge stroomsnelheden optreden. Het lijkt niet zinvol voorzieningen kleiner dan 1 mm inhoud te dimensioneren met een bypass. Het bezinkingsrendement van deze voorzieningen is zo laag dat deze niet effectief werken.

Rendement voor andere parameters
Door de toepassing van een duikschot kan een deel van de olie worden afgescheiden in de bezinkvoorziening. In aërobe omstandigheden vindt afbraak plaats van de olie.
Voor een optimale afscheiding van olie kan een afzonderlijke olie-afscheider worden geplaatst. Door deze voorziening zullen de kosten van de maatregelen echter aanzienlijk stijgen. Door de relatief lage concentraties in het afstromende water, zal het rendement van de olie-afscheider tijdens neerslag beperkt zijn.

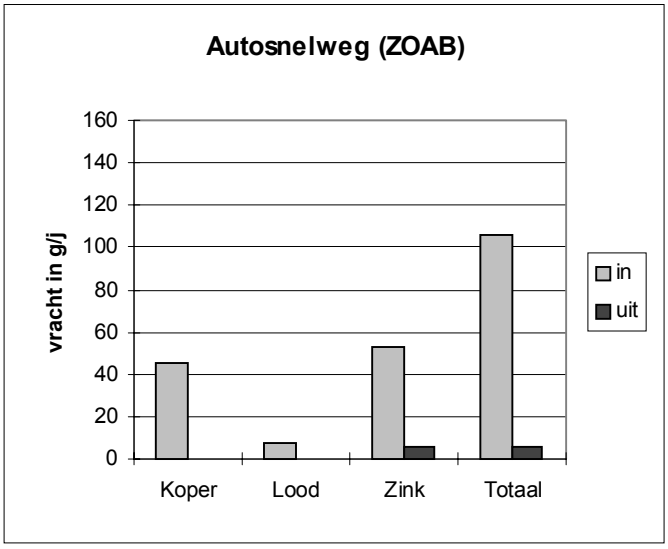
PAK zijn in het algemeen gehecht aan de bezinkbare fractie. De verwachting is dat de bezinkbaarheid vergelijkbaar is met die van metalen.

3.3.2 Infiltratievoorzieningen
Tijdens de infiltratie van regenwater zal adsorptie van verontreinigingen aan de grond plaatsvinden. Zodra alle adsorptieplaatsen bezet zijn zal de verontreiniging doorslaan naar het grondwater. De doorslagtermijnen van de verontreinigende stoffen zijn onder andere afhankelijk van de omstandigheden in de bodem (zoals zuurgraad, organische stofgehalte, vochtgehalte en redoxpotentiaal), de grondwaterstand en de hoeveelheid en infiltratiesnelheid van de verontreinigende stoffen. Door een gebrek aan kennis is voor alle varianten uitgegaan van hetzelfde verwijderingsrendement. Dit betekent dat zowel voor de provinciale weg (DAB) als de autosnelweg (ZOAB) hetzelfde verwijderingsrendement wordt aangehouden. Ook is aangenomen dat de totale reductie bij de centrale voorziening overeenkomt met die van de decentrale voorziening, ondanks de voorschakeling van een bezinkvoorziening.

Rendement voor koper, lood en zink
In figuur 3 en 4 is de emissiereductie voor de provinciale weg en de autosnelweg bij infiltratie weergegeven. Per variabele wordt aangegeven hoeveel vracht (in g/j) er in de infiltratievoorziening gaat en hoeveel er uit komt. Het verschil is gelijk aan de emissiereductie. De y-assen van de beide grafieken hebben een verschillende schaal.



Figuur 3 Emissiereductie voor DAB bij infiltratie (weglengte 500 m)



Figuur 4 Emissiereductie voor ZOAB bij infiltratie (weglengte 500 m)

Uit de resultaten blijkt dat de verwijdering van metalen bij infiltratie aanzienlijk groter is dan bij bezinking.

Rendement voor andere parameters

De infiltratievoorzieningen zijn ontworpen op een relatief snelle afvoer van het regenwater. De verblijftijd van het water in de onverzadigde zone is beperk tot hooguit enkele dagen. De afbraak van olie zal hierdoor beperkt zijn. In het anaërobe grondwater zal de afbraak van olie langzaam verlopen.

PAK zijn in de bodem in het algemeen iets mobieler dan metalen. Het zuiveringsrendement van een infiltratievoorziening voor PAK is hierdoor mogelijk iets geringer dan voor metalen. Hier staat tegenover dat PAK, in tegenstelling tot metalen, afbreekbaar zijn.

3.4 Infiltratie via bestaande bermen

3.4.1 Inleiding

In de huidige situatie wordt in veel gevallen het afstromende regenwater in de wegberm geloosd. Een gedeelte van het water infiltreert in de berm en een deel stroomt oppervlakkig af naar een bermsloot of greppel. Uit onderzoek blijkt dat verontreinigingen, die met het afstromende water worden meegevoerd, zich ophopen in de wegbermen in een smalle strook direct naast de weg.

Het is niet bekend hoeveel regenwater in de wegberm infiltreert en hoeveel rechtstreeks afstroomt in een bermsloot of greppel. Dit is afhankelijk van de doorlatendheid van de toplaag van de berm, de breedte van de berm en de helling.

In de volgende paragrafen wordt de infiltratiecapaciteit en de vuilreducerende werking van de bestaande bermen getoetst (§3.4.2). De doorslagtermijn van de toplaag bij infiltratie wordt berekend (§3.4.3). Voor nieuw aan te leggen bermen worden richtlijnen gegeven (§3.4.4). Tenslotte worden richtlijnen gegeven voor een monitoringsprogramma (§3.4.5).

3.4.2 Toetsing bestaande bermen

De ontwerpcriteria voor wegbermen worden grotendeels bepaald door veiligheids- en beheer(s)aspecten. De minimale bermbreedte wordt voor een belangrijk deel bepaald door de eis voor een obstakelvrije zone van minimaal 6 m. De berm naast de weg moet ook relatief vlak zijn uit veiligheidsoverwegingen: een helling van één op tien is een gangbaar ontwerpcriterium.
Uit overwegingen van beheer wordt de toplaag van de berm zo schraal mogelijk gehouden. Hierdoor wordt de frequentie waarmee de berm moet worden gemaaid beperkt.
De toplaag van de bermen wordt veelal samengesteld uit in de omgeving aanwezige grond.

Om een indruk te krijgen van de mate waarin de neerslag in de bestaande situatie infiltreert in de berm is de samenstelling van de berm geïnventariseerd. Hierbij zijn de gegevens gebruikt van diverse onderzoeken die door Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd naar de verontreiniging van wegbermen.

Een indicatie voor de infiltratiecapaciteit wordt verkregen door de doorlatendheid van de ondiepe bodem (toplaag) te bepalen. Deze k-waarde (m/d) is namelijk bij benadering gelijk aan de infiltratiecapaciteit bij een vochtige bodem.

Door Grontmij is een empirisch verband gelegd tussen de k-waarde en de mediane korrelgrootte en het lutumgehalte, in formule: k-waarde (m/d) = $(M50/60)^2 * 10^{-0,2L}$ (Cultuurtechnisch vademecum 1988). Hierbij is M50 de mediane korrelgrootte van de zandfractie in µm en L het lutumgehalte in procenten. Naast een hoog lutumgehalte vermindert ook een hoog organische stofgehalte de doorlatendheid. Dit verband is echter minder goed bekend. Een globale indicatie wordt verkregen door de volgende correctiefactor $F_{org.}$ aan te houden voor het organische stofgehalte: $F_{org.} = OC^{-0,46}$ [bron: WAVE reference manual). Hierbij is OC het gehalte organische koolstof in procenten (= organische stofgehalte * 0,58).

In tabel 9 is de samenstelling van de toplaag (de bovenste 30 cm) van wegbermen weergegeven en de hieruit berekende k-waarden. De k-waarde is hierbij eerst berekend op basis van de M50 en het lutumgehalte, waarna deze waarde is gecorrigeerd voor het gehalte organisch stof. Voor de M50 is op basis van expert-judgement een waarde van 150 en 210 µm aangehouden omdat dit meestal bij toplagen wordt aangetroffen. De grondsoort (zand of klei) is in principe al verdisconteerd in het lutumgehalte.

Bij de berekening van de k-waarde is ervan uitgegaan dat de hoogte van de grondwaterstand niet belemmerend op de infiltratiecapaciteit werkt. Gezien de ontwateringseisen waarop autosnelwegen en provinciale wegen worden ontworpen, is dit een redelijke aanname.

Tabel 9 Samenstelling[1)] en berekende k-waarde bestaande wegbermen

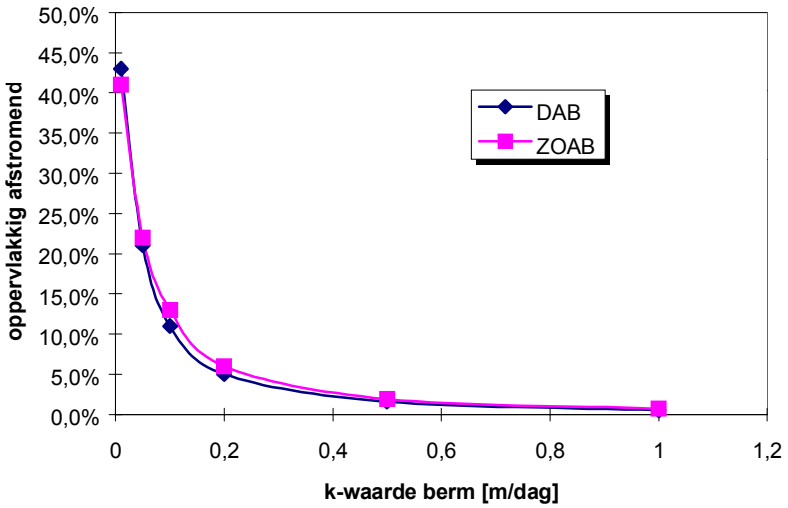
locatie	lutum	organische stof	k-waarde in m/dag bij M50 = 150 µm	210 µm
A4 ten noorden van Leiden	17,3%	10,4%	0,00	0,01
A2 bij Breukelen	15,0%	11,6%	0,01	0,01
A4 bij Leimuiden	15,0%	7,1%	0,01	0,01
A2 bij Maarssen	23,7%	15,1%	0,02	0,04
A13 ten zuiden van Delft	11,4%	6,1%	0,11	0,22
A1 bij Voorst	5,0%	4,0%	0,63	1,23
A58 ten zuiden van Breda	2,8%	3,4%	1,79	3,52
A28 bij Nijkerk	2,2%	3,9%	2,44	4,79
A28 bij Soesterberg	2,0%	0,9%	2,49	4,88
A28 nabij Leusden	2,0%	3,2%	2,49	4,88
A27 bij Maartensdijk	2,3%	6,0%	2,54	4,97

1) Gegevens afkomstig van DWW

Uit tabel 9 blijkt een duidelijk verband tussen de locatie en de samenstelling en de doorlatendheid van de berm. De bermen in het westen van Nederland (A2, A4 en A13) hebben een lagere doorlatendheid dan de bermen op de overige locaties.

Op basis van de gevonden range van k-waarden is een aantal berekeningen gemaakt van de hoeveelheid neerslag die bij overschrijding van de infiltratiecapaciteit oppervlakkig zal afstromen naar de bermsloot. De uitgangspunten van de berekeningen zijn in §2.4 weergegeven. Bij de berekeningen zijn verder de volgende uitgangspunten aangehouden.

Voor de oppervlakteberging van de berm is 2 mm aangehouden. Dit komt overeen met de waarden die voor hellend onverhard terrein in de Leidraad module C2100 is aangehouden.
De breedte van de berm is op 10 m aangehouden. Voor autosnelwegen kan dit als een gemiddelde worden beschouwd. Bij de provinciale weg is uitgegaan van een berm van 5 m aan weerszijden van de weg.
In figuur 5 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. In bijlage 7 zijn de uitgebreide resultaten beschreven.



Figuur 5 Oppervlakkige afstroming wegberm met een breedte van 10 m.

Uit de tabel blijkt dat bij een k-waarde van 0,01 m.d^{-1} circa 40% van de neerslag oppervlakkig afstroomt naar de bermsloot of greppel. Deze waarde kan als representatief worden gezien voor snelwegen in het westen van Nederland. Bij de overige onderzochte wegen bedraagt de k-waarde meer dan 1 m/dag. Hierbij infiltreert meer dan 99% van de neerslag in de berm.
Het is aannemelijk dat bij het afstromen een deel van de verontreinigingen, door de filterwerking van het gras en de gronddeeltjes, in de berm achterblijft. Dit water zal minder vuil zijn dan het van de weg afstromende water.

Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening worden gehouden met het indicatieve karakter van de berekeningen. Bij het berekenen van de k-waarde moet rekening worden gehouden met aanzienlijke marges. Ook het verhang en de breedte van de berm zijn van invloed op de hoeveelheid water die infiltreert.

3.4.3 Doorslagtermijn toplaag bij infiltratie

De mate waarin de zware metalen bij infiltratie achterblijven in de bodem wordt sterk bepaald door de mate waarin de stoffen adsorberen aan het bodemmateriaal. Bij een geringe adsorptie zullen de stoffen die infiltreren in de wegberm relatief snel percoleren naar het ondiepe grondwater. Dit vormt enerzijds een bedreiging voor de diepere grondwaterkwaliteit en anderzijds voor het nabijgelegen oppervlaktewater, waar het grondwater uitspoelt (bijvoorbeeld de bermsloot). Bij een grote adsorptie bewegen de stoffen zich veel langzamer dan het infiltrerende water en zal het percolerende water op enige diepte nauwelijks verhoogde concentraties aan deze stoffen bevatten.

De belangrijke vragen ten aanzien van de kwaliteitsaspecten bij infiltratie van het wegwater zijn als volgt:

a) hoe verhouden zich de concentraties van de metalen in het infiltrerende water ten opzichte van de normen voor het grondwater?
b) in welke mate worden de stoffen bij infiltratie gebonden aan het bodemmateriaal in de bovenste (top)laag?
c) op welke termijn komen de concentraties na percolatie van de toplaag boven de streefwaarde? Dit kan opgevat worden als de doorslagtermijn. Een andere definitie van de doorslagtermijn is de termijn waarbij de adsorptiecapaciteit van de toplaag nagenoeg is verbruikt.

Ad a)
Om de belasting bij infiltratie te kunnen vergelijken met de normen voor het grondwater, zijn de verschillende bronnen van belasting voor het ondiepe grondwater in de infiltrerende berm berekend. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de belasting is berekend voor drie meter wegberm (direct) langs de weg (2 x 1,5 bij provinciale DAB-weg);
- de runoff infiltreert voor 90% in de 1e drie meter van de wegberm (2 x 1,5 bij provinciale DAB-weg);
- van de neerslag (gesteld op 800 mm) infiltreert 90%, het overige deel stroom evenals de 10% runoff oppervlakkig af naar de bermsloot (dit komt overeen met een k-waarde van 0,1 bij een bermbreedte van 10 meter);
- de belasting door verwaaiing is berekend op basis van het aandeel van verwaaiing in de totale belasting. Dit aandeel bedraagt voor DAB-wegen gemiddeld 67% en voor ZOAB-wegen gemiddeld 18% (Berbee et al, 1996). Van deze berekende belasting door verwaaiing is aangenomen dat 30% door depositie terecht komt op de strook van 3 m wegberm.

Zo is de jaarlijkse Zink-belasting bij DAB-wegen op de volgende wijze berekend:
runoff : *debiet * conc. * 90% = 2.250 m^3/1.500 m^2 * 452 $mg.m^{-3}$ * 0,9 = 610 $mg.m^{-2}$*
verwaaiing : *67%/(100-67%)* (2250/1500*452)$_{belasting\ runoff}$ * 30% = 413 $mg.m^{-2}$*

De totale belasting voor de 3 m wegberm is weergegeven in tabel 10.
Ter vergelijking is in de tabel ook de achtergronddepositie (nat + droog) weergegeven; deze is in principe al verdisconteerd in de depositie door verwaaiing.

Tabel 10 Overzicht totale belasting wegberm (strook 3 m breedte) bij infiltratie

stof		runoff		verwaaiing		achtergrond-
		DAB	ZOAB	DAB	ZOAB	depositie[2)]
koper	($mg.m^{-2}$)	163,4	28,9	110,6	2,1	0,8
lood	($mg.m^{-2}$)	125,6	5,1	85,0	0,4	3,7
zink	($mg.m^{-2}$)	610,2	34,0	413,0	2,5	5,0
debiet[1)]	($m^3.m^{-2}$)	1,35	0,72	0	0	nvt

1) bij verwaaiing is het debiet (met name door opspatten) verwaarloosd
2) gemiddelde achtergronddepositie, overgenomen uit Baart et al (1995)

Uit tabel 10 blijkt dat de totale belasting bij ZOAB-wegen veel kleiner is (circa 10 tot 40 maal) dan bij DAB-wegen. Zowel de belasting door runoff als door verwaaiing is hier veel kleiner. De belasting door verwaaiing ligt ongeveer in dezelfde orde van grootte als de achtergronddepositie.

In Tabel 11 is aangegeven hoe de concentraties van het infiltrerende water, dus na menging van de verschillende balansposten, zich verhouden met de geldende normen voor het grondwater. Bij de berekening van de concentraties van het infiltrerende water is rekening gehouden dat 500 mm water verdampt.

Tabel 11 Vergelijking concentraties infiltrerend water en normen voor grondwater

stof	infiltrerend water		normen grondwater	
	DAB	ZOAB	streefwaarde	interventiewaarde
koper ($\mu g.l^{-1}$)	174	33	15	75
lood ($\mu g.l^{-1}$)	134	6	15	75
zink ($\mu g.l^{-1}$)	652	39	65	800

Uit tabel 11 blijkt dat de concentraties van het infiltrerende water langs DAB-wegen de normen voor het grondwater ruim overschrijdt; voor koper en lood zijn de gehalten zelfs hoger dan de interventiewaarden.

Ad b)
Het gedrag van zware metalen in de bodem wordt in het algemeen bepaald door de mate waarin de stoffen aan de bodem worden gebonden. Deze binding is enerzijds afhankelijk van het bodemmateriaal (bindingscapaciteit); zo heeft klei een veel grotere bindingscapaciteit voor metalen dan zand. Anderzijds wordt de bindingscapaciteit sterk bepaald door de fysisch-chemische samenstelling van het grondwater en het hydrochemische milieu; zo neemt de bindingscapaciteit sterk af in een zuur milieu (pH's < 3 à 4). Al met al is de mate waarin de metalen aan de bodem worden gebonden zeer variabel en verschilt sterk van plaats tot plaats. Een directe maat voor de mate waarin de stoffen aan de bodem worden gebonden is de zogenaamde verdelingscoëfficiënt Kd. De Kd-waarde is een parameter die een lineair verband geeft van de verhouding tussen de geadsorbeerde hoeveelheid en de hoeveelheid in oplossing. In Tabel 12 zijn de Kd-waarden voor de metalen weergegeven die in de Handleiding Urgentie Bodemsanering van VROM (Koolenbrander, 1995) zijn aangegeven. Deze waarden worden toegepast bij risico-evaluaties van bodemverontreiniging in het kader van de Wet Bodembescherming.

Tabel 12 Verdelingscoëfficiënten (Kd-waarden) zware metalen

stof	Kd $dm^3.kg^{-1}$
koper	540
lood	2.400
zink	250

Uit de tabel blijkt dat lood het sterkst aan de bodem wordt gebonden en zink het minst. Uit andere literatuur (Lijzen, 1996) blijkt dat de Kd-waarden voor verschillende zandige bodems gemiddeld globaal overeenkomen met bovengenoemde waarden, maar dat de range vrij groot is. De onderlinge verhoudingen tussen de verschillende metalen blijven globaal wel hetzelfde.

Ad c)
Op basis van de inkomende vrachten (tabel 10 en 11) en het stofgedrag in de bodem (tabel 12) kan het concentratieverloop in de bodem bij infiltratie met de volgende algemene formule (Appelo et al, 1993) worden berekend:

$$C_{l,t} = \frac{C_0}{2}\left[erfc\left(\frac{RL - vt}{\sqrt{4 D_L Rt}}\right) + \exp\left(\frac{vL}{D_L}\right) erfc\left(\frac{RL + vt}{\sqrt{D_L Rt}}\right)\right]$$

waarbij:
$C_{l,t}$ = concentratie ter plaatse van diepte l in het bodemprofiel en tijdstip t
C_0 = startconcentratie op l = 0 (infiltratiewater)
R = de retardatiefactor = 1 + Kd*(bulkdichtheid grond/porositeit)
D_L = dispersielengte (longitudinaal)
v = stroomsnelheid = inkomend debiet/porositeit
L = beschouwde diepte in het bodemprofiel

Met deze formule is een eenvoudig spreadsheet programma opgezet in Excel. In deze spreadsheet is voor een bodemprofiel van 30 cm het concentratieverloop in de tijd berekend waarbij het profiel is opgedeeld in een groot aantal laagjes (cellen).

Uitgangspunten bij de berekeningen zijn de Kd-waarden van VROM (Tabel 12), de infiltrerende concentraties (Tabel 11) en een dispersielengte van 0,3/27,5 m (Gelhar, 1992).

De output van het model zijn de concentraties onder in het bodemprofiel op verschillende tijden. De doorslagtermijn is hiervan afgeleid door de concentratie onder in het bodemprofiel te vergelijken met de normen van het grondwater. De berekende doorslagtermijnen zijn weergegeven in Tabel 13. De uitgebreide resultaten zijn in bijlage 9 opgenomen.

Tabel 13 Doorslagtermijnen

	doorslagtermijn in jaar			
	toetsing aan streefwaarde		toetsing aan interventiewaarde	
	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
koper	13	55	45	∞
lood	70	∞	310	∞
zink	6	∞	∞	∞

Uit de tabel blijkt dat bij DAB-wegen sprake is van een relatief korte doorslagtermijn (6, 13 en 70 jaar) waarop de streefwaarden worden overschreden. Ook de interventiewaarden van koper en lood worden bij DAB-wegen overschreden, maar deze termijn duurt relatief erg lang. De situatie bij ZOAB-wegen is veel gunstiger; hier wordt alleen de streefwaarde voor koper op de lange termijn overschreden.

Bedacht dient te worden dat de berekeningen voor de doorslagtermijn slechts indicatief zijn. Zo is in de berekeningen geen rekening gehouden met het feit dat een deel van de belasting goed bezinkbaar en derhalve door de toplaag deels gefilterd zal worden. Indien ervan wordt uitgegaan dat van het bezinkbare deel de helft door het bodemmateriaal wordt gefilterd (zie tabel 5 §2.5), bedraagt bij DAB-wegen de doorslagtermijn waarop de streefwaarde wordt overschreden voor zink 8 jaar en voor koper 16 jaar. Daarentegen kan het resultaat ook veel ongunstiger uitpakken bij iets lagere verdelingscoëfficiënten of een grotere dispersie. Vanuit milieuhygiënisch oogpunt verdient het daarom aanbeveling bij kwetsbare gebieden (bijvoorbeeld grondwaterbeschermingsgebieden) bij provinciale DAB-wegen ervoor te zorgen dat het infiltrerende water na bodempassage wordt afgevangen door een drainerende bermsloot en deze te isoleren van het omringende watersysteem. Hiermee wordt voorkomen dat het potentieel vervuilde percolerende water terecht komt in het diepere of verder afgelegen grondwater. In gebieden met een afdekkende klei/veenlaag (veel voorkomend in West-Nederland), is het risico voor verticale verspreiding sowieso gering en zal het infiltrerende water vrijwel volledig worden gedraineerd door de bermsloot. In gebieden waar zo'n deklaag ontbreekt bestaan wel reële risico's voor verspreiding.

3.4.4 Criteria voor aanleg-/verbeteringsmaatregelen

De samenstelling van de toplaag van de berm moet een compromis zijn tussen doorlatendheid en het vermogen om metalen te binden. Hoe hoger de gehalten organische stof en lutum, des te groter de bindingscapaciteit voor verontreinigingen en des te geringer de doorlatendheid.

Bij een k-waarde van circa 0,01 $m.d^{-1}$ en een bermbreedte van 10 m wordt volgens de berekeningen circa 40% van het water rechtstreeks geloosd. Dit is relatief veel. Gezien de onzekerheden van de berekeningen voor wat betreft doorlatendheid en de vuilgehalten van het afstromende water, is in de praktijk nader onderzoek ter plaatse gewenst.
In nieuwe situaties is een k-waarde van 0,1 $m.d^{-1}$ uit het oogpunt van infiltratiecapaciteit een goede optie. De berekende doorslagtermijnen zijn voor sommige parameters aan de lage kant. Het verdient de voorkeur om de dikte van de toplaag groter te maken dan de 0,3 m waarvan uit is gegaan bij de berekeningen.

Aanbevolen wordt de volgende ontwerpcriteria bij nieuwe aanleg te hanteren:

- k-waarde 0,1 m/dag
- dikte toplaag ≥0,50 m
- breedte berm ≥10 m
- verhang ≤10%

Ondanks het feit dat het specifieke stofgedrag in de toplaag en daarmee de berekeningen van de doorslagtermijn vrij onzeker zijn, kan gesteld worden dat het risico van een ongewenste doorslag bij DAB-wegen groot is en op lange termijn ook voor ZOAB niet is uitgesloten. De wegbeheerder kan hierop anticiperen door op kritische plaatsen de ondiepe grondwaterkwaliteit te monitoren. Indien blijkt dat deze (sterk) stijgt kunnen maatregelen worden genomen. Qua sanering ligt het dan voor de hand de toplaag te vervangen door schone grond met een betere bindingscapaciteit. Zeker bij aanwezigheid van een drainerende bermsloot en/of ondiep aanwezige slecht doorlatende deklagen zal voor het resterende volume verontreinigde grondwater naar verwachting de verspreiding naar het diepere of verder afgelegen grondwater gering zijn. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de wijze van monitoren.

3.4.5 Monitoringsprogramma

In §3.4.3 is aangegeven in hoeverre het ondiepe grondwater door infiltratie van het wegwater met de beschouwde stoffen wordt belast. Uit de massabalans komt hierbij naar voren dat het infiltrerende water bij DAB-wegen de normen voor grondwater ruim overschrijdt, zelfs tot ruim boven de interventiewaarde voor sanering. Bij ZOAB-wegen wordt alleen de streefwaarde van koper overschreden.

Om de verontreinigingen te monitoren wordt geadviseerd om enkele raaien van peilbuizen in te richten bij kwetsbare gebieden en op plaatsen die qua bindingscapaciteit het meest kritisch zijn. Dit zijn met name de locaties waar ondiepe slecht doorlatende bodemlagen afwezig of zandig ontwikkeld zijn.

Gedacht wordt aan raaien die ieder bestaan uit 3 peilbuizen (2 tussen de weg en de bermsloot en 1 referentiebuis op enige afstand hiervan).
De peilbuizen worden uitgerust met een filter op een diepte van circa 3 m beneden maaiveld.
Bij aanwezigheid van een drainerende bermsloot kan in de raaien de mate van infiltratie en de drainerende werking worden gemonitord door regelmatig de grondwaterstanden tussen de wegberm en de sloot te meten alsmede het waterpeil en eventueel de afvoeren in de bermsloot. Het is dan nog wel mogelijk dat het afgevangen water in de bermsloot op benedenstrooms gelegen trajecten weer in de bodem infiltreert, maar bij deze infiltratie zal ook weer een belangrijk deel van de verontreinigingen door adsorptie en sedimentatie achterblijven in de sloot(bodem).

De mate waarin het verontreinigde infiltratiewater terecht komt in het grondwater kan worden gemeten door op gezette tijden grondwatermonsters uit de peilbuisfilters te nemen en deze fysisch/chemisch te analyseren. Hierbij wordt gedacht aan een bemonsteringsfrequentie van 1 maal per 2 jaar en een standaard analysepakket voor zware metalen, PAK's en olie.

Aanbevolen wordt om van een monster ook de macrosamenstelling van het grondwater te analyseren (temperatuur, geleidbaarheid, belangrijkste kationen en anionen), omdat dit ook inzicht geeft in het stofgedrag van de zware metalen.

Het lijkt voor de hand te liggen om naast de grondwaterkwaliteit ook de bodemkwaliteit van de toplaag te bemonsteren. Hierbij dient te worden bedacht dat de kwaliteit van de bodem meer heterogeen is als het ondiepe grondwater. Bovendien is het vanuit milieuhygiënisch oogpunt beter te verantwoorden de monitoring zoveel mogelijk te richten op de risico's voor het omringende milieu, dat bij het infiltreren in bestaande bermen door verspreiding via het grondwater wordt bedreigd. Wel is een monitoring van de bodemsamenstelling nodig om de afzetmogelijkheden bij vervanging van de toplaag na te gaan. Gericht onderzoek naar de uitloogbaarheid van de bodem voor de zware metalen geeft uiteraard nuttige inzichten voor de risico's van verspreiding en doorslagtermijn, maar worden op grote schaal qua inzet en kosten niet haalbaar geacht.

In Tabel 14 zijn globaal de kosten aangegeven voor het inrichten en monitoren van een enkele raai.

Tabel 14 Kosten monitoring

onderdeel	kosten (guldens)	specificatie
plaatsen 3 peilbuizen	250,--	peilbuizen 4 m lang, inclusief filter en straatpot
inmeten 3 peilbuizen	75,--	waterpassing vanaf de kant van de weg
5 maal monstername grondwater	1200,--	1 maal/2 jaar monstername, inclusief veldmeting temp, pH, EGV en opname grondwaterstanden
analyse 15 grondwatermonsters	4650,--	8 zware metalen en 10 Pak's Vrom
analyse 5 grondwatermonsters	1250,--	belangrijke kat- en anionen
35 x opnemen grondwaterstanden	8750,--	opname standen 4 maal/jaar (minus keren dat ook bemonsterd wordt)
TOTAAL	**16.175,--**	exclusief BTW
	19.000,--	inclusief BTW

De totale kosten voor inrichting en monitoring gedurende 10 jaar bedragen volgens deze globale raming ruim zestienduizend gulden (exclusief BTW).
De kosten van het aanbrengen of vervangen van de toplaag zijn weergegeven in tabel 15 en tabel 16.

3.5 Kostenberekeningen

3.5.1 Stichtingskosten

Voor de varianten met een weglengte van 500 m zijn in tabel 8 de stichtingskosten weergegeven. Als de riolering speciaal moet worden aangelegd om het water naar een bezinkings- of infiltratievoorziening te leiden, moeten deze kosten in beschouwing worden genomen. Als de noodzaak van de aanleg van riolering onafhankelijk is van het al dan niet toepassen van voorzieningen, worden deze niet toegerekend aan de emissiereducerende maatregelen. De kosten zijn inclusief en exclusief riolering weergegeven. De kosten zijn inclusief alle toeslagen en BTW.

In bijlage 8 zijn de kosten van alle voorzieningen opgenomen.

Tabel 15 Voorbeeld stichtingskosten maatregelen

weglengte = 500 m		inclusief riolering		exclusief riolering	
variant		provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
bezinking					
open voorziening	klein	295.770	157.568	8.660	8.660
	middel	296.780	158.578	9.670	9.670
	groot	299.230	161.028	12.121	12.121
gesloten voorziening	klein	310.192	171.990	23.083	23.083
	middel	326.309	188.108	39.200	39.200
	groot	364.057	225.855	76.948	76.948
infiltratie					
decentrale infiltratie (berm)		n.v.t.	n.v.t.	98.519	51.312
centrale infiltratie		325.374	176.312	38.265	27.404
bestaande berm					
aanleg toplaag		n.v.t.	n.v.t.	15.750	15.750

Bij het bepalen van de stichtingskosten van de aanleg van infiltratievoorzieningen en de aanleg van een toplaag is uitgegaan van eerste aanleg. Dit houdt in dat in de stichtingskosten geen stortkosten voor verontreinigde grond in rekening zijn gebracht.

3.5.2 Jaarlijkse kosten

De jaarlijkse kosten van de voorzieningen zijn globaal geraamd op basis van de investerings- en onderhoudskosten. De resultaten zijn opgenomen in bijlage 8. De kosten zijn inclusief alle toeslagen en BTW.

Voor de varianten met een weglengte van 500 m zijn in tabel 16 de jaarlijkse kosten weergegeven.

Tabel 16 Voorbeeld jaarlijkse kosten maatregelen

weglengte = 500 m		inclusief riolering		exclusief riolering	
variant		provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
bezinking					
open voorziening	klein	18.311	10.319	1.708	1.708
	middel	18.614	10.622	2.011	2.011
	groot	18.993	11.001	2.390	2.390
gesloten voorziening	klein	19.822	11.830	3.219	3.219
	middel	21.174	13.182	4.571	4.571
	groot	23.668	15.676	7.065	7.065
infiltratie					
decentrale infiltratie		n.v.t.	n.v.t.	15.972	8.139
centrale infiltratie		25.373	16.488	8.770	7.186
bestaande berm					
vervanging toplaag		n.v.t.	n.v.t.	6.319	4.160

Bij het bepalen van de jaarlijkse kosten is voor de infiltratievoorzieningen en de aanleg van een toplaag rekening gehouden met stortkosten voor verontreinigde grond. Doordat de belasting bij de ZOAB-weg lager is dan bij de DAB-weg, is de vervangingstermijn van de toplaag op 60 jaar in plaats van 20 jaar gesteld.

Uit de tabellen met de stichtings- en jaarlijkse kosten blijkt dat de aanleg van riolering de grootste kostenpost is. Riolering moet in alle varianten worden aangelegd. Een uitzondering hierop vormen de decentrale infiltratievoorziening en lozing in de bestaande berm. Hierbij behoeft geen riolering te worden aangelegd. Bij de afweging van de varianten moet hiermee rekening worden gehouden.

Uit de tabellen blijkt verder dat de kosten van open bezinkingsvoorzieningen slechts beperkt toenemen bij een aanzienlijke vergroting van de voorziening (2 versus 13 m^3). Bij de gesloten voorzieningen nemen de kosten wel sterk toe.

De kosten van de decentrale infiltratievoorziening worden sterk bepaald door de kosten van de infiltratiekoffer en het geotextiel. Bij een goed doorlatende bodem is het niet noodzakelijk een infiltratiekoffer aan te leggen. Dit heeft een sterk kostenreducerend effect.

Bij het bepalen van de stichtingskosten voor de aanleg van een toplaag voor de berm is uitgegaan van een aanlegbreedte van 10 meter. Dit oppervlak is aanzienlijk groter dan van de infiltratievoorzieningen. Ondanks de meer eenvoudige constructie zijn de kosten hierdoor relatief hoog. De kosten voor eerste aanleg van een toplaag behoren tot de standaard aanlegkosten van een weg en kunnen niet als meerkosten worden beschouwd.
Bij het bepalen van de jaarlijkse kosten is uitgegaan van het vervangen van de meeste vervuilde laag. Uitgegaan is van een laag met een dikte van 0,30 m en een breedte van 3 m. De breedte en dikte van de af te graven strook is tamelijk arbitrair.

3.6 Evaluatie functioneren voorzieningen

3.6.1 Inleiding

De onderzochte behandelingsmethoden worden geëvalueerd op basis van de vuilconcentraties in het geloosde water, de kosten per verwijderde kilogram metalen en overige aspecten.

3.6.2 Vuilconcentraties in het geloosde water

In tabel 17 zijn de concentraties weergegeven in het water dat uit de voorziening stroomt bij een wegvak met een lengte van 500 m. De resultaten zijn ook representatief voor de varianten met een andere weglengte. Uitgegaan is van een bezinkingsvoorziening van gemiddelde afmetingen.

Tabel 17 Concentraties som Cu, Pb, Zn in µg/l bij weglengte 500 m

Weglengte =500 m		
variant	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
ongezuiverd	666	94
geloosd na bezinking		
open voorziening 4 m^3	344	79
gesloten voorziening 4 m^3	378	79
percolatiewater infiltratie	49	5

Uit de tabel blijkt dat het zuiveringsrendement bij infiltratie aanzienlijk hoger is dan bij bezinking. Door infiltratie nemen de vuilconcentraties met circa 90% af, tegen circa 50% en 25% door bezinking bij respectievelijk DAB en ZOAB.

3.6.3 Kosten per verwijderde kilogram metalen

In tabel 18 zijn de kosten per verwijderde kg koper, lood en zink weergegeven bij een weglengte van 500 m.

Tabel 18 Kosten per verwijderde metalen som Cu, Pb, Zn in f .kg^{-1}.j^{-1} bij weglengte 500 m

weglengte = 500 m	inclusief riolering		exclusief riolering	
variant	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
bezinking				
open voorziening 4 m 3	25.689	575.262	2.775	108.905
gesloten voorziening 4 m 3	32.637	713.906	7.045	247.549
infiltratie				
decentrale infiltratie	0	0	11.509	81.351
centrale infiltratie	18.283	164.807	6.319	71.825
bestaande berm				
vervanging toplaag	n.v.t.	n.v.t.	5.116	47.798

Uit de tabel blijkt dat, als de kosten voor de riolering niet worden meegerekend, bij een provinciale DAB-weg een open bezinkingsvoorziening de hoogste rentabiliteit heeft: circa *f* 3.000,-- per verwijderde kg. Infiltratie via de bestaande berm komt op de tweede plaats met circa *f* 5.100,-- per verwijderde kg.
Bij een autosnelweg (ZOAB) heeft infiltratie via de bestaande berm de hoogste rentabiliteit.

Als ten behoeve van de bezinkings- of centrale infiltratievoorzieningen speciaal riolering moet worden aangelegd, stijgen de kosten zeer sterk. In deze situaties is infiltratie in de bestaande berm of een decentrale infiltratievoorziening aanzienlijk goedkoper.

De kostenverschillen tussen een provinciale weg en een autosnelweg worden bijna volledig veroorzaakt door het verschil tussen DAB en ZOAB.

3.6.4 Overige aspecten

Met het oog op het behouden van een goede doorlatendheid van de voorziening, moet het gras in de infiltratievoorziening kort worden gehouden. Dit betekent dat een maairegime van 10 tot 26 keer per jaar gewenst is. Bij een infiltratievoorziening in de berm is met het oog op de verkeersveiligheid een extensief maaibeheer gewenst. Bij een voldoende ruim gedimensioneerde infiltratievoorziening, kan een extensief maaibeheer worden aangehouden. De exacte consequenties voor de afmetingen van de voorzieningen zullen nader moeten worden onderzocht.

De infiltratievoorzieningen zijn gedimensioneerd op een relatief snelle afvoer van het afstromende regenwater naar het grondwater of naar de drain. Deze afvoertijd bedraagt maximaal enkele dagen. In deze tijd vindt slechts een geringe afbraak plaats van olie. Een deel van de olie zal in het grondwater of de drain terechtkomen.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De conclusies beperken zich tot de toepassing van bezinkings- en infiltratievoorzieningen. Andere maatregelen, zoals helofytenfilters, zijn niet in beschouwing genomen.

Bezinkingsvoorzieningen

Het zuiveringsrendement van een open voorziening met een inhoud van 2 mm ten opzichte van het afvoerende oppervlak bedraagt bij een DAB-provinciale weg voor de metalen koper, lood en zink tezamen circa 48% en bij een ZOAB-snelweg 16%.

Het bezinkingsrendement van een voorziening met een inhoud van 2 mm bedraagt 60-70% van het maximaal haalbare bezinkingsrendement. Boven een inhoud van circa 2 mm stijgt het rendement nog maar langzaam.

De maximaal optredende stroomsnelheden zijn bij de berekende voorzieningen relatief klein. Het gevaar van opwoeling van bezonken slib is hierdoor beperkt. De meerwaarde van een bypass bij hoge debieten is hierdoor beperkt.

Gelet op het lage rendement van bezinkingsvoorzieningen bij ZOAB-wegen en de lage uitgangsconcentraties in dit wegwater, is deze wijze van behandeling van wegwater weinig effectief. Voor DAB-wegen is bezinking van het afstromende wegwater wel een geschikte optie.

Infiltratievoorzieningen

Bij behandeling van wegwater in een infiltratievoorziening bedraagt het zuiveringsrendement voor metalen meer dan 90%. De beschouwde voorzieningen hebben een uitstroom naar het oppervlaktewater. In de bermsloot zal nog een deel van de restvervuiling achterblijven. Naar verwachting is het verschil in rendement tussen DAB en ZOAB beperkt. Voor beide type wegen is infiltratie dus een zeer effectieve methode om verontreinigingen uit het wegwater te verwijderen.

Infiltratie via bestaande berm

Op grond van globale berekeningen wordt de hoeveelheid oppervlakkig afstromend wegwater, naar bijvoorbeeld een bermsloot, ingeschat op circa 40% in kleiige bermen in het westen van Nederland en minder dan 1% in de meer zandige bermen in de hoger gelegen delen van Nederland. In West-Nederland zal dus een bewerking van de berm gericht op vergroting van de doorlaatbaarheid nodig zijn om infiltratie van het wegwater in de berm mogelijk te maken.

Het organische stof- en lutumgehalte van de toplaag van de bestaande bermen is in het algemeen voldoende hoog om een goede binding van verontreinigingen te garanderen. Het zuiveringsrendement komt naar verwachting overeen met dat van de speciaal aangelegde infiltratievoorzieningen en bedraagt meer dan 90% voor metalen.

Uit de berekeningen blijkt dat bij DAB-wegen sprake is van een relatief korte doorslagtermijn (6, 13 en 70 jaar) waarop de streefwaarden worden overschreden. Ook de interventiewaarden van koper en lood worden bij DAB-wegen overschreden, maar deze termijn duurt relatief lang. De situatie bij ZOAB-wegen is veel gunstiger; hier wordt alleen de streefwaarde voor koper op de lange termijn overschreden.

De doorslagtermijnen zijn met name voor bermen berekend en niet voor de infiltratievoorzieningen. In vergelijking met de berm, is de doorlatendheid in infiltratievoorzieningen groter, omdat het water in een relatief kleiner oppervlak moet worden geïnfiltreerd. Om de grotere infiltratiecapaciteit te kunnen realiseren is het organische stof en lutumgehalte lager dan van de bermvariant. De doorslagtermijn zal hierdoor naar verwachting in de infiltratievoorzieningen korter zijn dan voor de bermvariant is berekend. De centrale infiltratievoorziening scoort op dit aspect beter dan de decentrale infiltratievoorziening, omdat het afstromende wegwater wordt voorbezonken. De vervangingsfrequentie van het materiaal in de infiltratievoorziening zal dus hoger moeten zijn dan die voor de variant waarbij het wegwater via de toplaag in de berm wordt geïnfiltreerd.

Monitoring van de kwaliteit van het grondwater is gewenst. In de studie is een voorstel met betrekking tot de monitoring uitgewerkt, zie hiervoor §3.4.5. Het verdient tevens aanbeveling het percolerende hemelwater zoveel mogelijk af te voeren naar een bermsloot. Op deze wijze wordt de beïnvloeding van het diepe grondwater zoveel mogelijk beperkt.

Infiltratie via de bestaande berm kan dus een zeer effectieve methode zijn om verontreinigingen uit het wegwater te verwijderen, mits aanleg en beheer van de berm aan bepaalde eisen voldoet.

Kosten en rentabiliteit

Voor de stichtings- en jaarlijkse kosten wordt verwezen naar de tabel 15 en tabel 16. Verschillende opties voor de behandeling van wegwater kunnen worden onderscheiden met uiteenlopende stichtings- en jaarlijkse kosten. Gebleken is dat bij aanleg van voorzieningen voor het behandelen van wegwater de kosten voor de aanleg van riolering op een veel hoger niveau liggen dan de kosten voor de zuiveringstechnische voorzieningen zelf. Bij bezinking neemt het zuiveringsrendement slechts langzaam toe bij een grotere inhoud (en dus hogere kosten) van de voorziening. Een inhoud van 2 mm vormt daarom een goed compromis tussen prestaties en kosten.

Voor een representatief wegvak zijn in tabel 19 de kosten per verwijderde kg metalen weergegeven.

Tabel 19 Kosten per verwijderde metalen som Cu, Pb, Zn in f .kg^{-1}.j^{-1} bij weglengte 500 m

weglengte = 500 m	inclusief riolering		exclusief riolering	
variant	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB	provinciale weg DAB	autosnelweg ZOAB
bezinking				
open voorziening 4 m 3	25.689	575.262	2.775	108.905
gesloten voorziening 4 m 3	32.637	713.906	7.045	247.549
infiltratie				
decentrale infiltratie	0	0	11.509	81.351
centrale infiltratie	18.283	164.807	6.319	71.825
bestaande berm				
vervanging toplaag	n.v.t.	n.v.t.	5.116	47.798

Bij een provinciale DAB-weg liggen de behandelingskosten, uitgedrukt in f.kg^{-1} verwijderde metalen, voor de variant met infiltratie in de bestaande berm het laagst. Dit betekent dat het financieel aantrekkelijker is om periodiek de toplaag te monitoren, en zo nodig te vervangen, dan om het wegwater in te zamelen en centraal te behandelen. De gehalten in het behandelde water liggen daarbij ook nog op een gunstig(er) niveau.

Bij een weg met een ZOAB-deklaag liggen de behandelingskosten, uitgedrukt in $f.kg^{-1}$ verwijderde metalen, op een veel hoger niveau dan bij DAB-wegen. Net als bij de provinciale DAB-wegen is de bermvariant financieel en milieuhygiënisch aantrekkelijk.

Dit rapport geeft een overzicht van het rendement en de kosten van verschillende opties voor de behandeling van afstromend wegwater. De uiteindelijke keuze voor een wijze van behandeling van wegwater ligt bij de wegbeheerder en betrokken overheden.

4.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Op grond van de bevindingen in deze studie is nader onderzoek gewenst naar de afstroming van regenwater via de bestaande bermen. Gebleken is dat met beperkte aanpassingen in aanleg en beheer de wegbermen geschikt kunnen worden gemaakt om het wegwater op een milieuhygiënisch verantwoorde wijze via de berm te infiltreren. Het nader onderzoek dient zich te richten op het optimaliseren en onderbouwen van de in dit rapport gedane aanbevelingen met betrekking tot het infiltreren van het wegwater in de berm.

Referenties

Appelo, C.A.J. en D. Postma, ‘Geochemistry, groundwater and polution’, 1993.

Baart, A.C., J.J.M. Berdowski en J.A. van Jaarsveld, ‘Calculation of atmospheric deposition of contaminants on the North Sea’, TNO 1995.

Berbee, R.P.M., G.B.J. Rijs en M.W. de Brouwer, ‘Behandeling afstromend wegwater van snelwegen.’, RIZA, Lelystad, februari 1996.

Gelhar, L.W., C. Wetly en K.R. Rehfeldt, ’A critical review of data on filed-scale dispersion in aquifers’. Water Resources Research 28 (1993), nummer 7, blz. 1955-1974.

Grontmij, ‘Voorzuivering infiltratievoorziening, ‘t Cranevelt te Arnhem.’, Grontmij Advies en Techniek, 1999.

Kluck, J., ‘The design of optimally functioning storm water settling tanks.’ Proefschrift TU Delft, 1997.

Lijzen, J.P.A. en R.O.G. Franken, ‘Kritische bodembelasting voor prioritaire stoffen, afleiding en toepassing’, RIVM 1996.

Stichting Rioned, ’Leidraad Riolering.’

Rijkswaterstaat, ‘Handleiding Wegenbouw. Ontwerp Hemelwaterafvoer.’, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, juni 1988.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, ‘Cultuurtechnisch vademecum’, Cultuurtechnische vereniging, 1988.

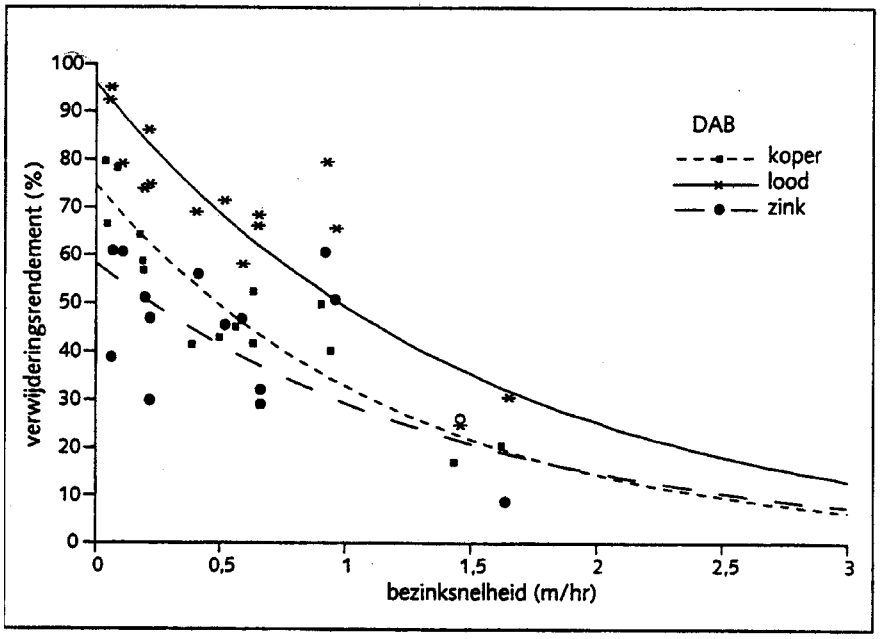
Koolenbrander, ‘Urgentie Bodemsanering, de Handleiding’, ministerie VROM, 1995.

Verantwoording

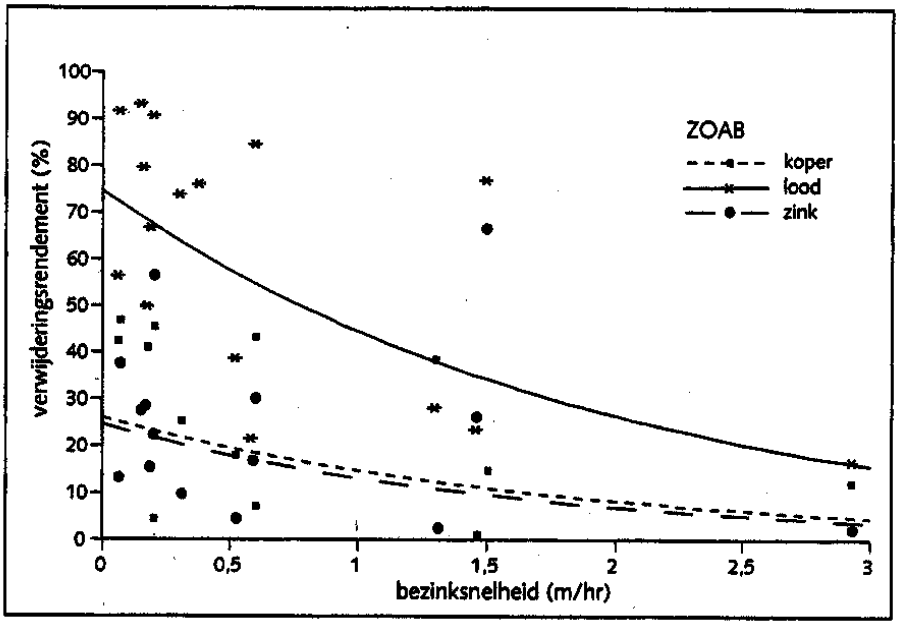
Titel	:	Rendement en kosten behandeling van afstromend wegwater
Opdrachtgever(s)	:	RIZA
Uitgegeven door	:	Grontmij Advies & Techniek bv, adviesgroep Water
Plaats en datum	:	Houten, 9 december 1999
P.N.	:	13.5693.1
Doc.nr.	:	13/99007390.BeLa/GL
Status en versie	:	eindrapport
Aantal pagina's	:	30
Opgesteld	:	ing. G.B. Lemmen, drs.ing. P. Schipper, drs. T. van Mossevelde
Gecontroleerd	:	ing. G.B. Lemmen
Goedgekeurd **[naam en paraaf]**	:	ir. W.J.P. Worst
Informatie	:	ing. G.B. Lemmen, telefoon 030-6344861

@ Grontmij

Bijlage 1: Effectiviteitsgrafieken



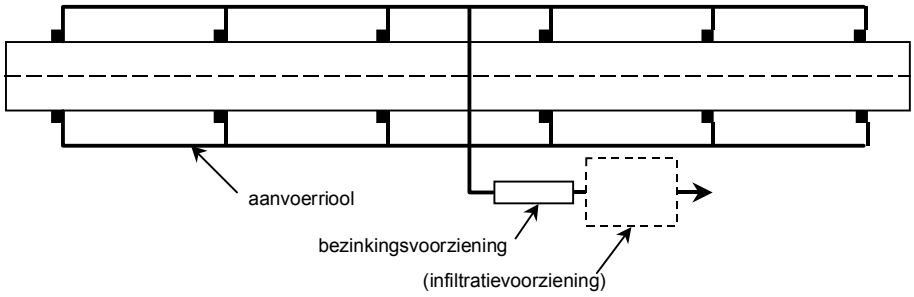
Figuur B1.1 *Het verwijderingsrendement van de metalen Cu, Pb en Zn in wegwater van DAB als functie van de bezinksnelheid (RIZA, 1996).*



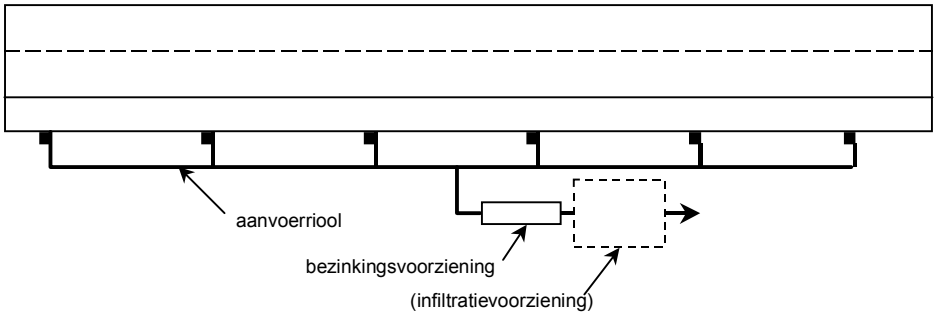
Figuur B1.2 *Het verwijderingsrendement van de metalen Cu, Pb en Zn in wegwater van ZOAB als functie van de bezinksnelheid (RIZA, 1996).*

Bijlage 2: Situatieschets

2-baans autoweg, b = 7,5 m, l = 250, 500 en 750 m



2 stroken van autosnelweg, b = 11,4 m, l = 250, 500 en 750 m



@ Grontmij

Bijlage 3: Diameters riolen

2-baans autoweg

breedte	3,75	m
neerslagintensiteit	167	l/(s.ha)
max verhang	2	‰
k	0,5	mm

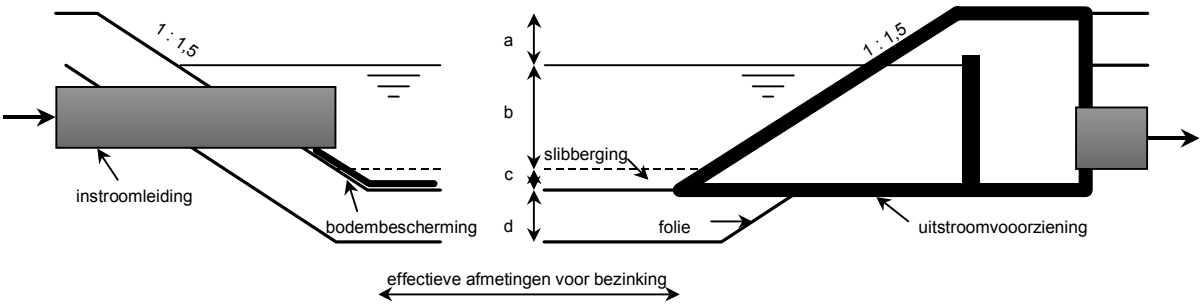
lengte [m]	Fv [m2]	debiet [l/s]	D [mm]	v [m/s]
50	188	3,1	250	0,06
100	375	6,3	250	0,13
150	563	9,4	250	0,19
200	750	12,5	250	0,26
250	938	15,7	250	0,32
300	1125	18,8	250	0,38
350	1313	21,9	250	0,45
400	1500	25,1	250	0,51
450	1688	28,2	250	0,57
500	1875	31,3	300	0,44
550	2063	34,4	300	0,49
600	2250	37,6	300	0,53
650	2438	40,7	300	0,58
700	2625	43,8	300	0,62
750	2813	47,0	300	0,66
1500	5625	93,9	400	0,75

2 rijstroken+vluchtstrook van autosnelweg

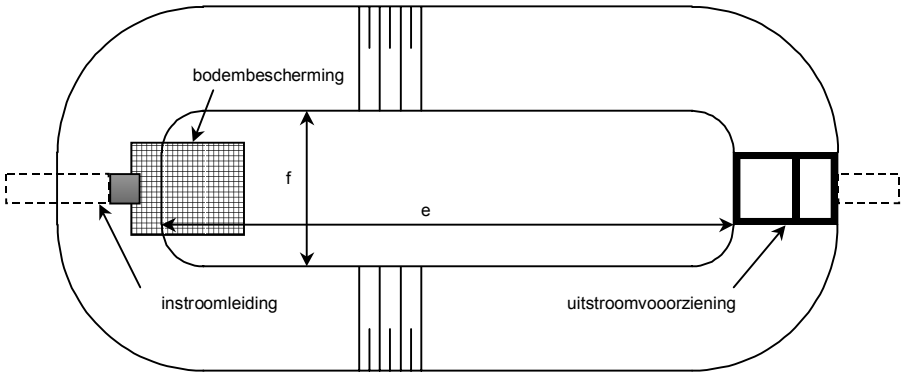
breedte	11,4	m
neerslagintensiteit	167	l/(s.ha)

lengte [m]	Fv [m2]	debiet [l/s]	D [mm]	v [m/s]
50	570	9,5	250	0,19
100	1140	19,0	250	0,39
150	1710	28,6	250	0,58
200	2280	38,1	300	0,54
250	2850	47,6	300	0,67
300	3420	57,1	400	0,45
350	3990	66,6	400	0,53
400	4560	76,2	400	0,61
450	5130	85,7	400	0,68
500	5700	95,2	400	0,76
550	6270	104,7	400	0,83
600	6840	114,2	500	0,58
650	7410	123,7	500	0,63
700	7980	133,3	500	0,68
750	8550	142,8	500	0,73

Bijlage 4: Schets bezinkingsvoorziening



a = 0,3 - 0,4 - 0,5 m
b = 0,5 - 0,75 - 1,0 m
c = 0,2 - 0,3 - 0,4 m
d = 0,5 m
e = 4 - 13,86 m
f = 1 - 4 m

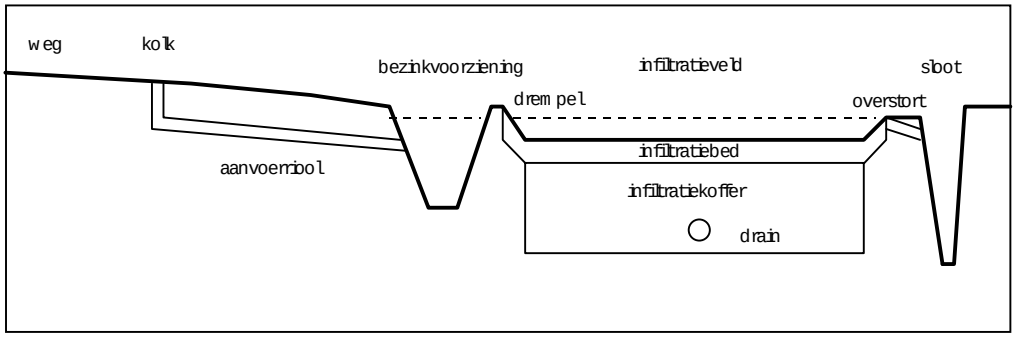


@ Grontmij

Bijlage 5: Schets infiltratievoorzieningen

Decentrale infiltratievoorziening (wegberm)

Centrale infiltratievoorziening (infiltratieveld)



Bijlage 6: Samenvatting resultaten

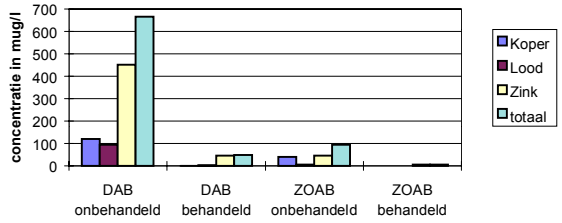
k=0,1 m/dag	afstromend wegwater in m3/j		
	inloop	infiltratie	overstort
ovs.vol DAB	2250	2003	248
ovs.vol ZOAB	1128	981	147

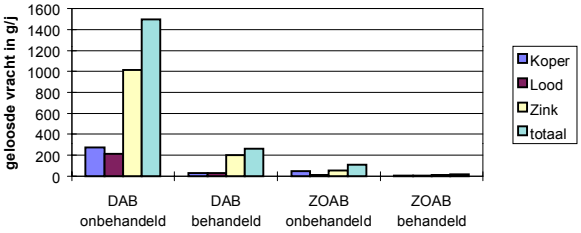
	rendement infiltratie
Koper	99%
Lood	97%
Zink	90%

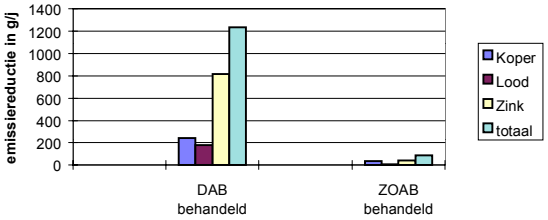
	conc. in mug/l			
	onbehandeld DAB	behandeld DAB	onbehandeld ZOAB	behandeld ZOAB
Koper	121	1	40	0
Lood	93	3	7	0
Zink	452	45	47	5
totaal	666	49	94	5

	geloosde vracht in g/j			
	onbehandeld DAB	behandeld DAB	onbehandeld ZOAB	behandeld ZOAB
Koper	272	32	45	6
Lood	209	29	8	1
Zink	1017	202	53	12
totaal	1499	263	106	19

	emissiereductie in g/j	
	behandeld DAB	behandeld ZOAB
Koper	240	39
Lood	181	7
Zink	815	42
totaal	1235	87





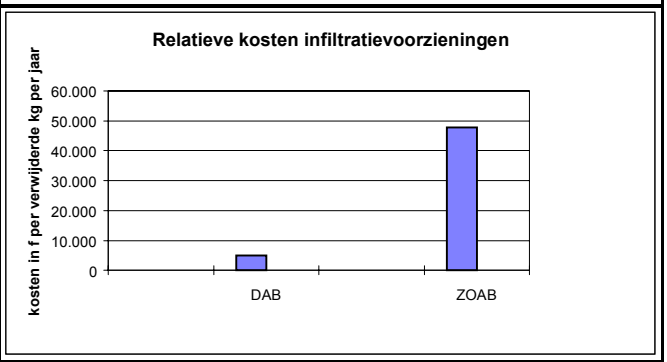


jaarlijkse kosten

	DAB	ZOAB
vervanging toplaag	6.319	4.160

kosten per verwijderde kg/j

	DAB	ZOAB
excl riol.	5.116	47.798



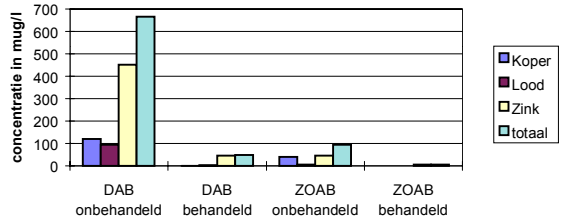
ovs.vol DAB	2250	m3/j
ovs.vol ZOAB	1128	m3/j

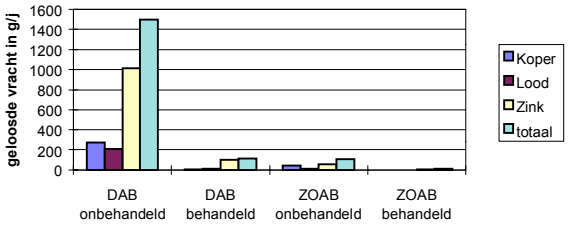
rendement infiltratie	
Koper	99%
Lood	97%
Zink	90%

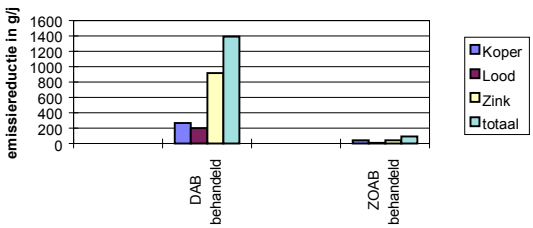
	conc. in mug/l			
	onbehandeld DAB	behandeld DAB	onbehandeld ZOAB	behandeld ZOAB
Koper	121	1	40	0
Lood	93	3	7	0
Zink	452	45	47	5
totaal	666	49	94	5

	geloosde vracht in g/j			
	onbehandeld DAB	behandeld DAB	onbehandeld ZOAB	behandeld ZOAB
Koper	272	3	45	0
Lood	209	6	8	0
Zink	1017	102	53	5
totaal	1499	111	106	6

	emissiereductie in g/j	
	behandeld DAB	behandeld ZOAB
Koper	270	45
Lood	203	8
Zink	915	48
totaal	1388	100

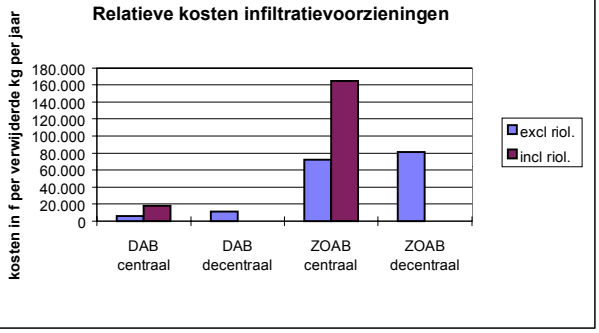






	jaarlijkse kosten			
	centraal DAB	decentraal DAB	centraal ZOAB	decentraal ZOAB
riolering	16.603		9.302	
infiltratie	8.770	15.972	7.186	8.139
totaal	25.373	15.972	16.488	8.139

	kosten per verwijderde kg/j			
	centraal DAB	decentraal DAB	centraal ZOAB	decentraal ZOAB
excl riol.	6.319	11.509	71.825	81.351
incl riol.	18.283		164.807	



ovs.vol DAB 250 m	1125 m3/j

L=250 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	0%	37%	51%	59%	75%
Lood	0%	54%	71%	80%	95%
Zink	0%	33%	43%	49%	60%
totaal	0%	37%	48%	55%	68%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	121	76	60	49	30
Lood	93	42	27	18	5
Zink	452	304	257	229	181
totaal	666	423	344	297	216

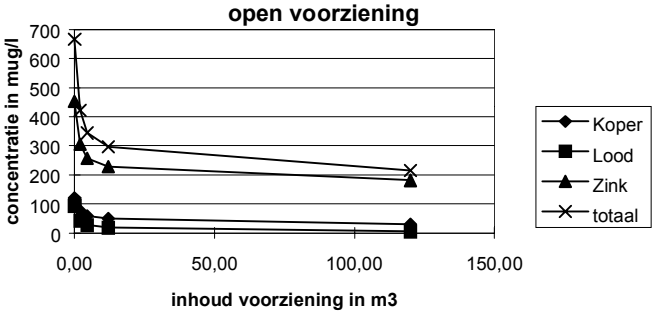
geloosde vracht in g/j

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	136	85	67	55	34
Lood	105	48	30	21	5
Zink	509	342	290	258	203
totaal	749	475	387	334	243

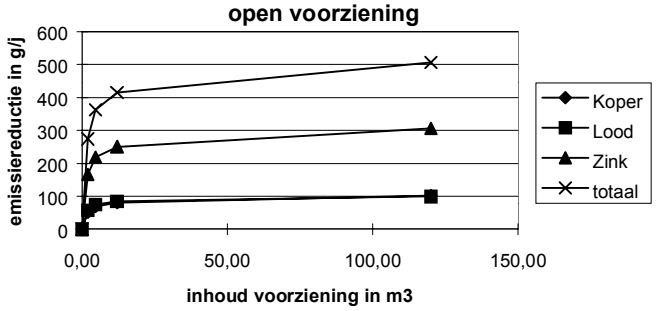
emissiereductie in g/j

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	0	51	69	81	102
Lood	0	57	74	84	99
Zink	0	166	219	251	305
totaal	0	274	362	416	507

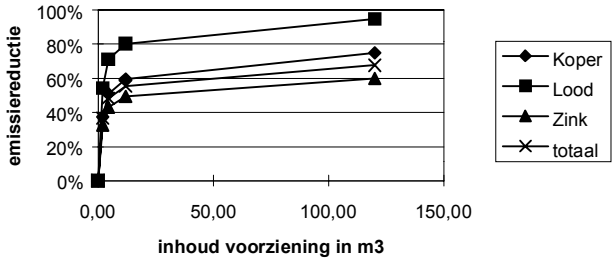
Provinciale weg DAB, L=250 m, B=7,5 m
open voorziening



Provinciale weg DAB, L=250 m, B=7,5 m
open voorziening



Provinciale weg DAB, L=250 m, B=7,5 m
open voorziening



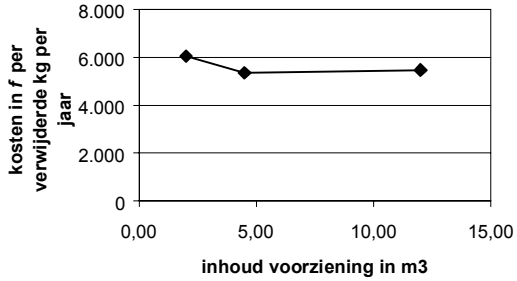
jaarlijkse kosten in F

	2,00	4,50	12,00
riolering	9.206	9.206	9.206
bezinking	1.660	1.940	2.276
totaal	10.866	11.147	11.482

kosten per verwijderde kg/j

	2,00	4,50	12,00
excl riolering	6.059	5.354	5.476
incl riolering	39.669	30.756	27.627

Provinciale weg DAB, L=250 m, B=7,5 m
open voorziening



ovs.vol DAB 500 m	2250 m3/j

L=500 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	0%	37%	51%	59%	75%
Lood	0%	54%	71%	80%	95%
Zink	0%	33%	43%	49%	60%
totaal	0%	36%	48%	55%	68%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	121	76	60	49	30
Lood	93	43	27	19	5
Zink	452	305	257	230	181
totaal	666	423	344	298	216

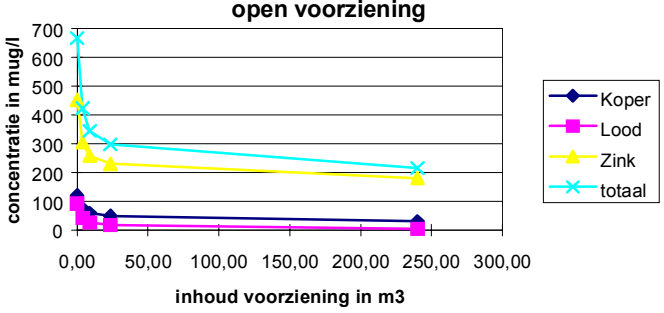
geloosde vracht in g/j

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	272	171	134	111	68
Lood	209	96	61	42	10
Zink	1017	685	579	518	407
totaal	1499	952	774	671	485

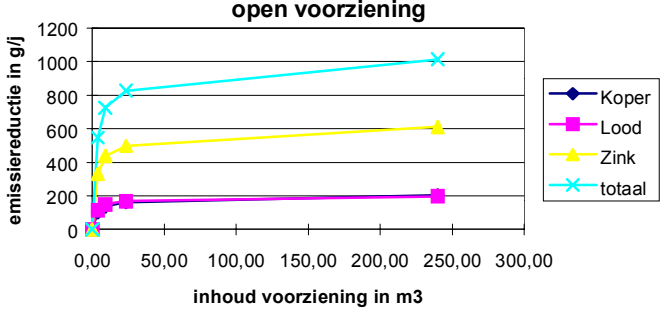
emissiereductie in g/j

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	0	101	138	161	204
Lood	0	114	149	167	199
Zink	0	332	438	499	610
totaal	0	546	725	828	1013

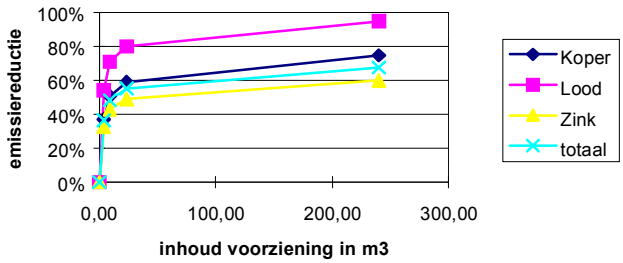
Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m
open voorziening



Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m
open voorziening



Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m
open voorziening



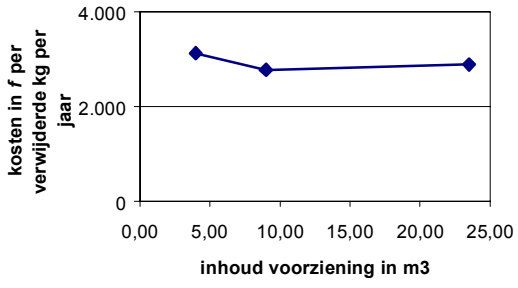
jaarlijkse kosten in F

	3,98	8,99	23,52
riolering	16.603	16.603	16.603
bezinking	1.708	2.011	2.390
totaal	18.311	18.614	18.993

kosten per verwijderde kg/j

	3,98	8,99	23,52
excl riolering	3.125	2.775	2.887
incl riolering	33.510	25.689	22.944

Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m
open voorziening



ovs.vol DAB 750 m	6750 m3/j

L=750 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	0%	37%	51%	59%	75%
Lood	0%	54%	71%	80%	95%
Zink	0%	33%	43%	49%	60%
totaal	0%	37%	48%	55%	68%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	121	76	59	49	30
Lood	93	42	27	18	5
Zink	452	304	257	229	181
totaal	666	423	344	297	216

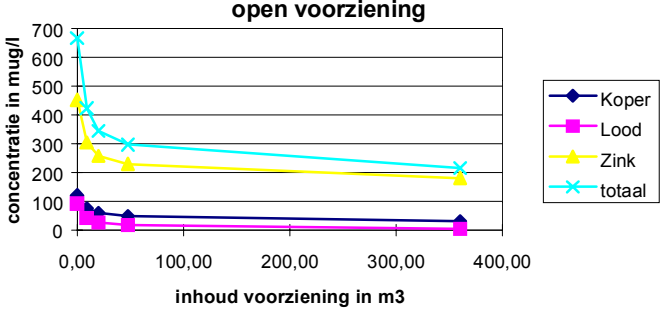
geloosde vracht in g/j

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	817	512	402	331	204
Lood	628	286	182	124	31
Zink	3051	2054	1737	1548	1220
totaal	4496	2853	2321	2002	1456

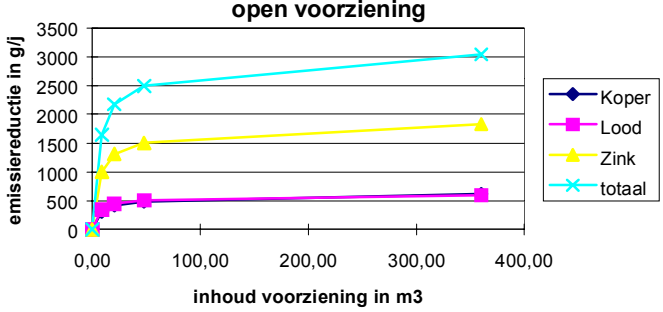
emissiereductie in g/j

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	0	304	415	486	613
Lood	0	341	446	504	596
Zink	0	997	1314	1503	1831
totaal	0	1643	2175	2493	3040

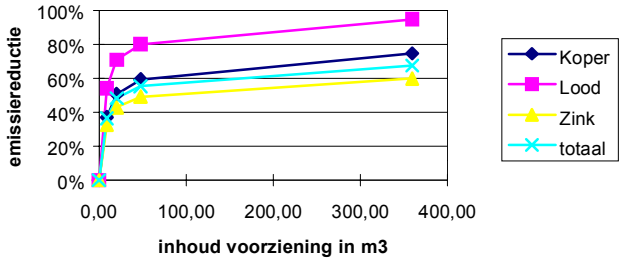
Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m
open voorziening



Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m
open voorziening



Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m
open voorziening



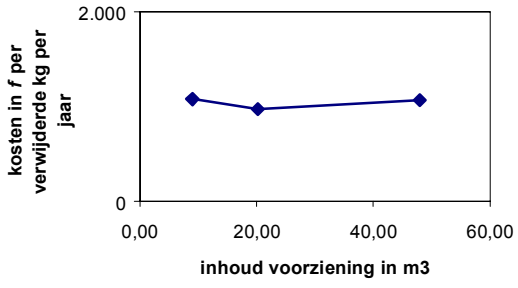
jaarlijkse kosten in F

	8,99	20,26	47,96
riolering	23.833	23.833	23.833
bezinking	1.772	2.115	2.653
totaal	25.605	25.948	26.486

kosten per verwijderde kg/j

	8,99	20,26	47,96
excl riolering	1.079	973	1.064
incl riolering	15.586	11.931	10.624

Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m
open voorziening



ovs.vol	1125 m3/j

L=250 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	0%	28%	45%	56%	75%
Lood	0%	41%	64%	76%	95%
Zink	0%	25%	39%	47%	60%
totaal	0%	28%	43%	52%	68%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

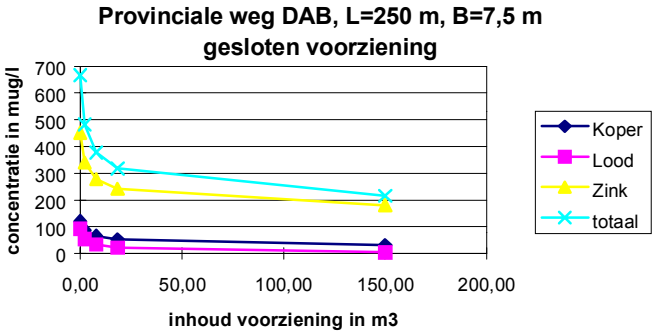
	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	121	88	67	54	30
Lood	93	55	33	22	5
Zink	452	340	278	242	181
totaal	666	482	378	317	216

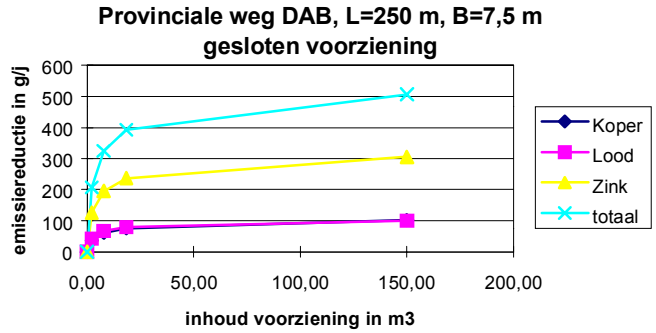
geloosde vracht in g/j

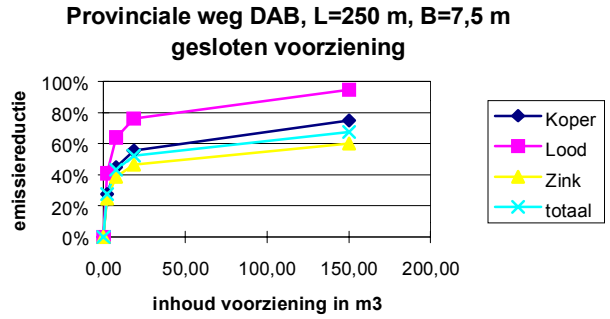
	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	136	99	75	60	34
Lood	105	62	38	25	5
Zink	509	383	312	272	203
totaal	749	543	425	357	243

emissiereductie in g/j

	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	0	38	61	76	102
Lood	0	43	67	80	99
Zink	0	126	196	237	305
totaal	0	206	324	392	507





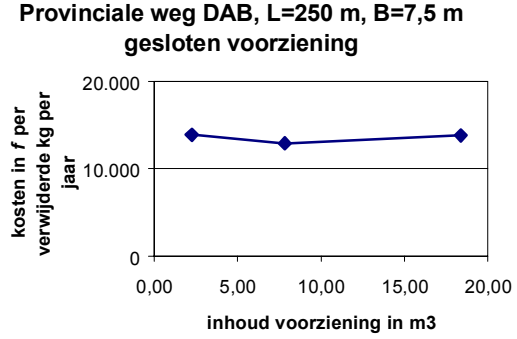


jaarlijkse kosten in F

	2,25	7,81	18,38
riolering	9.206	9.206	9.206
bezinking	2.865	4.183	5.412
totaal	12.071	13.389	14.618

kosten per verwijderde kg/j

	2,25	7,81	18,38
excl riolering	13.879	12.899	13.801
incl riolering	58.472	41.289	37.277



ovs.vol	2250 m3/j

L=500 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	0%	28%	45%	56%	75%
Lood	0%	41%	64%	76%	95%
Zink	0%	25%	39%	47%	60%
totaal	0%	28%	43%	52%	68%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	121	88	67	54	30
Lood	93	55	33	22	5
Zink	452	340	278	242	181
totaal	666	483	378	318	216

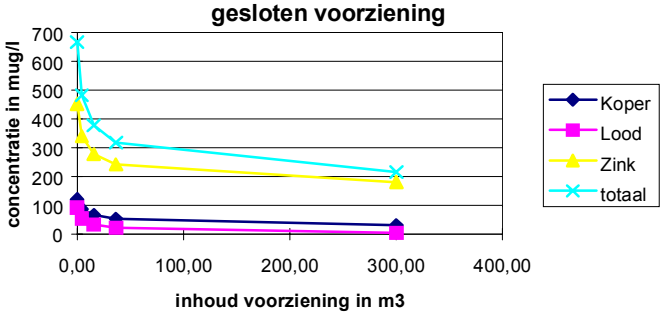
geloosde vracht in g/j

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	272	197	150	121	68
Lood	209	123	75	50	10
Zink	1017	765	624	544	407
totaal	1499	1086	850	715	485

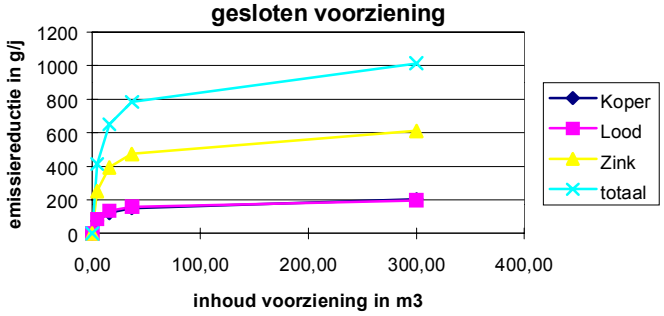
emissiereductie in g/j

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	0	75	122	151	204
Lood	0	86	134	160	199
Zink	0	252	393	473	610
totaal	0	413	649	784	1013

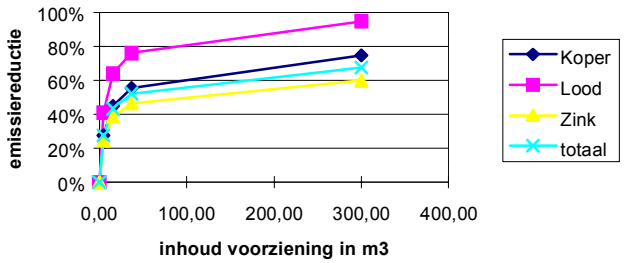
Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m gesloten voorziening



Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m gesloten voorziening



Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m gesloten voorziening



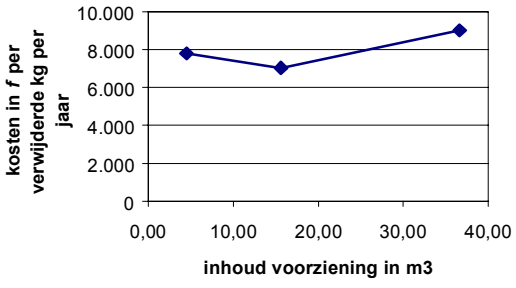
jaarlijkse kosten in F

	4,49	15,64	36,68
riolering	16.603	16.603	16.603
bezinking	3.219	4.571	7.065
totaal	19.822	21.174	23.668

kosten per verwijderde kg/j

	4,49	15,64	36,68
excl riolering	7.803	7.045	9.012
incl riolering	48.042	32.637	30.191

Provinciale weg DAB, L=500 m, B=7,5 m gesloten voorziening



ovs.vol	6750 m3/j

L=750 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	0%	28%	45%	56%	75%
Lood	0%	41%	64%	76%	95%
Zink	0%	25%	39%	47%	60%
totaal	0%	28%	43%	52%	68%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	121	88	67	54	30
Lood	93	55	33	22	5
Zink	452	340	277	242	181
totaal	666	482	378	317	216

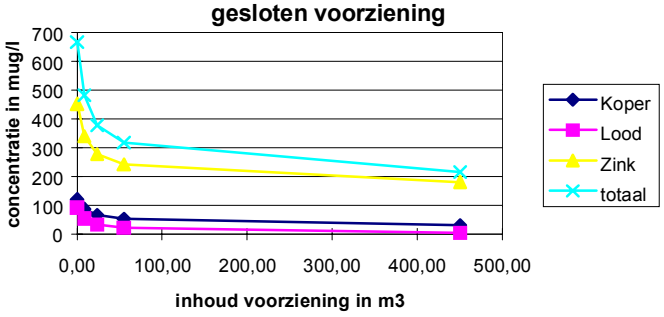
geloosde vracht in g/j

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	817	591	450	363	204
Lood	628	370	226	149	31
Zink	3051	2295	1873	1632	1220
totaal	4496	3256	2548	2143	1456

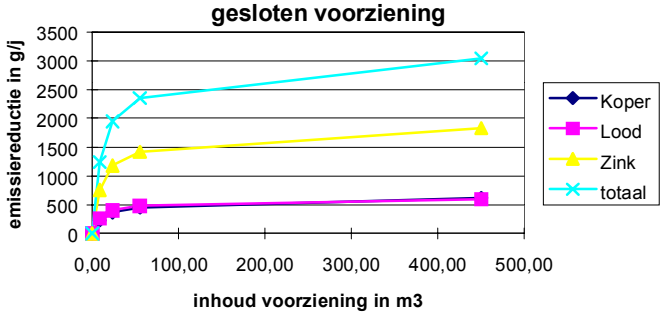
emissiereductie in g/j

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	0	226	367	454	613
Lood	0	258	402	479	596
Zink	0	756	1178	1419	1831
totaal	0	1240	1947	2352	3040

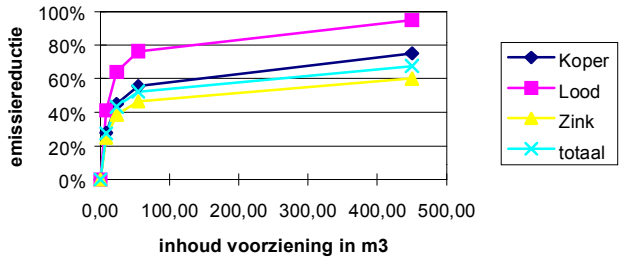
Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m gesloten voorziening



Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m gesloten voorziening



Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m gesloten voorziening



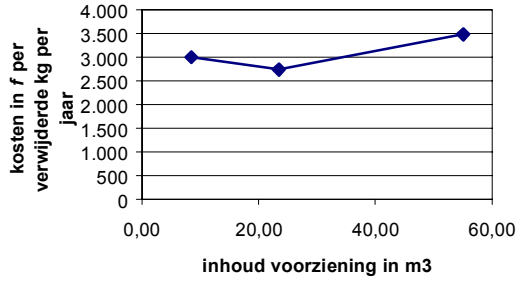
jaarlijkse kosten in F

	8,45	23,49	55,09
riolering	23.833	23.833	23.833
bezinking	3.717	5.326	8.185
totaal	27.549	29.159	32.018

kosten per verwijderde kg/j

	8,45	23,49	55,09
excl riolering	2.998	2.735	3.480
incl riolering	22.222	14.976	13.610

Provinciale weg DAB, L=750 m, B=7,5 m gesloten voorziening



ovs.vol	614 m3/j

L=250 m
rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	0%	8%	15%	19%	26%
Lood	0%	25%	43%	54%	75%
Zink	0%	7%	13%	17%	24%
totaal	0%	9%	16%	20%	29%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	40	37	34	33	30
Lood	7	5	4	3	2
Zink	47	44	41	39	36
totaal	94	86	79	75	67

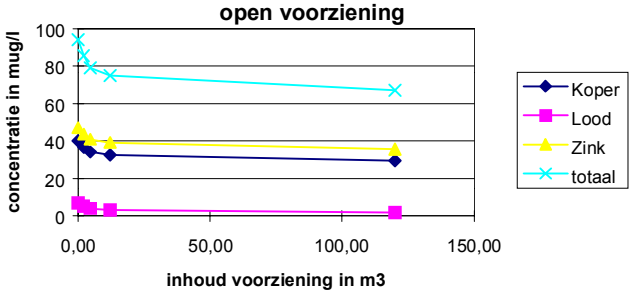
geloosde vracht in g/j

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	25	23	21	20	18
Lood	4	3	2	2	1
Zink	29	27	25	24	22
totaal	58	53	48	46	41

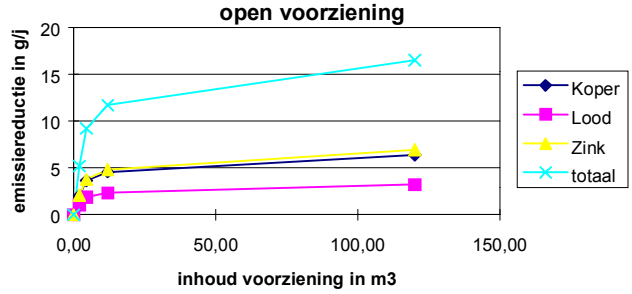
emissiereductie in g/j

	0,00	2,00	4,50	12,00	120,00
Koper	0	2	4	5	6
Lood	0	1	2	2	3
Zink	0	2	4	5	7
totaal	0	5	9	12	17

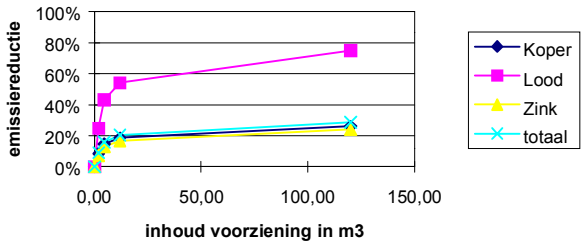
Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
open voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
open voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4
open voorziening



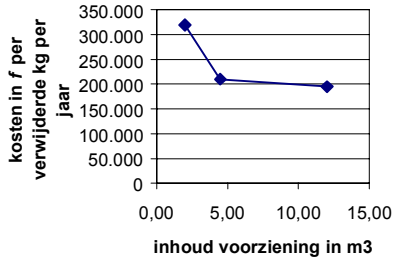
jaarlijkse kosten in F

	2,00	4,50	12,00
riolering	4.505	4.505	4.505
bezinking	1.660	1.940	2.276
totaal	6.164	6.445	6.780

kosten per verwijderde kg/j

	2,00	4,50	12,00
excl riolering	319.515	210.180	194.562
incl riolering	1.186.862	698.132	579.727

Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
open voorziening



ovs.vol	1228 m3/j

L=500 m
rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	0%	8%	15%	19%	26%
Lood	0%	25%	43%	54%	75%
Zink	0%	7%	13%	17%	24%
totaal	0%	9%	16%	20%	29%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	40	37	34	33	30
Lood	7	5	4	3	2
Zink	47	44	41	39	36
totaal	94	86	79	75	67

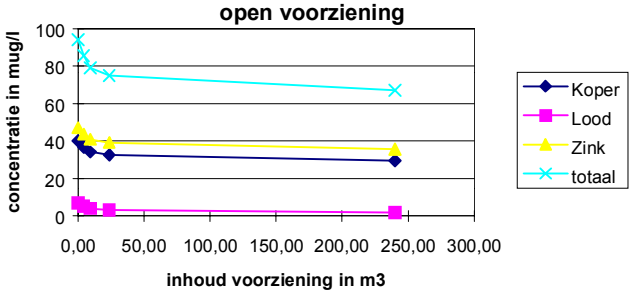
geloosde vracht in g/j

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	49	45	42	40	36
Lood	9	6	5	4	2
Zink	58	54	50	48	44
totaal	115	105	97	92	82

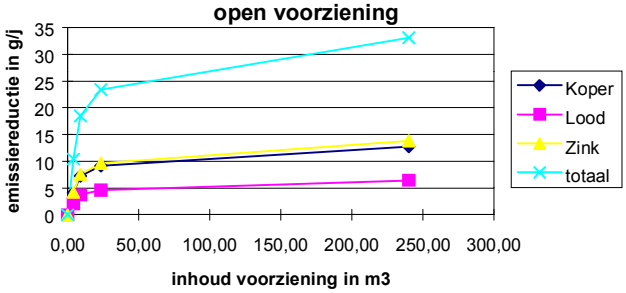
emissiereductie in g/j

	0,00	3,98	8,99	23,52	240,00
Koper	0	4	7	9	13
Lood	0	2	4	5	6
Zink	0	4	8	10	14
totaal	0	10	18	23	33

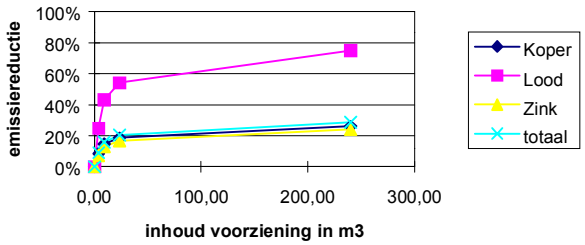
Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
open voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
open voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
open voorziening



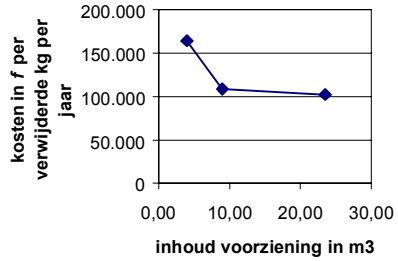
jaarlijkse kosten in F

	3,98	8,99	23,52
riolering	8.611	8.611	8.611
bezinking	1.708	2.011	2.390
totaal	10.319	10.622	11.001

kosten per verwijderde kg/j

	3,98	8,99	23,52
excl riolering	164.377	108.905	102.185
incl riolering	993.339	575.262	470.304

Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
open voorziening



ovs.vol	3684 m3/j

L=750 m
rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	0%	8%	15%	19%	26%
Lood	0%	25%	43%	54%	75%
Zink	0%	7%	13%	17%	24%
totaal	0%	9%	16%	20%	29%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	40	37	34	33	30
Lood	7	5	4	3	2
Zink	47	44	41	39	36
totaal	94	86	79	75	67

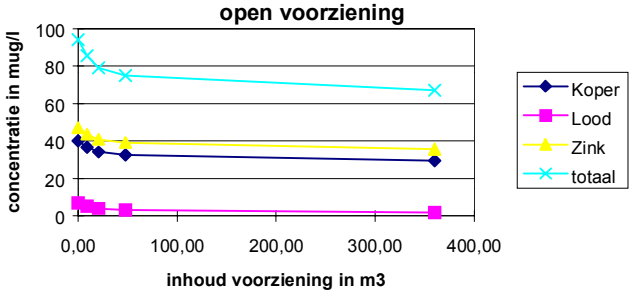
geloosde vracht in g/j

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	147	135	126	120	109
Lood	26	19	15	12	6
Zink	173	161	151	144	132
totaal	346	315	291	276	247

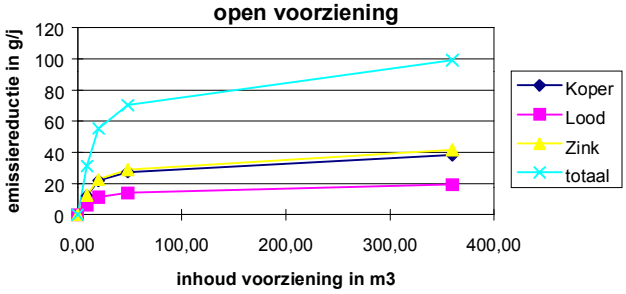
emissiereductie in g/j

	0,00	8,99	20,26	47,96	360,00
Koper	0	12	22	27	38
Lood	0	6	11	14	19
Zink	0	13	23	29	42
totaal	0	31	55	70	99

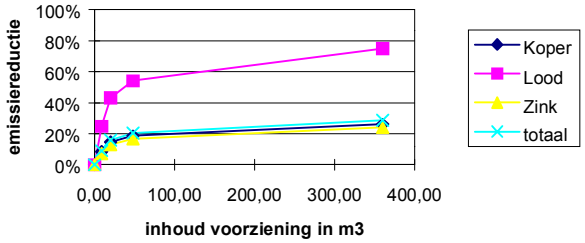
Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m
open voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m
open voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m
open voorziening



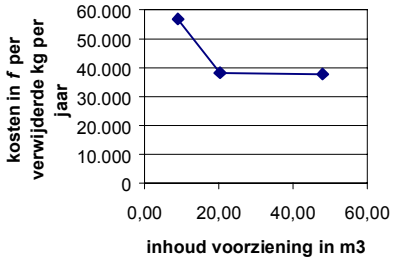
jaarlijkse kosten in F

	8,99	20,26	47,96
riolering	13.431	13.431	13.431
bezinking	1.772	2.115	2.653
totaal	15.203	15.547	16.085

kosten per verwijderde kg/j

	8,99	20,26	47,96
excl riolering	56.867	38.190	37.811
incl riolering	487.861	280.659	229.203

Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m
open voorziening



ovs.vol	614 m3/j

L=250 m
rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	0%	8%	15%	19%	26%
Lood	0%	25%	43%	54%	75%
Zink	0%	7%	13%	17%	24%
totaal	0%	9%	16%	20%	29%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	40	37	34	33	30
Lood	7	5	4	3	2
Zink	47	44	41	39	36
totaal	94	86	79	75	67

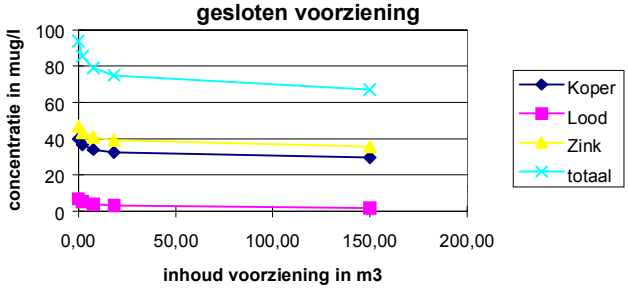
geloosde vracht in g/j

	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	25	23	21	20	18
Lood	4	3	2	2	1
Zink	29	27	25	24	22
totaal	58	53	48	46	41

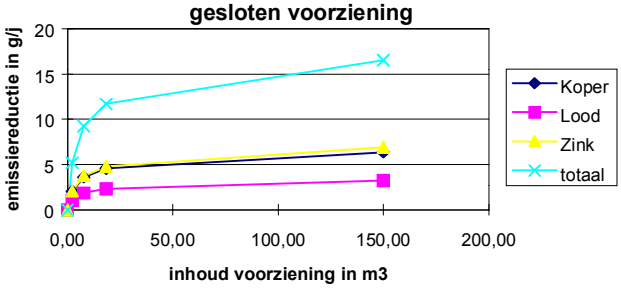
emissiereductie in g/j

	0,00	2,25	7,81	18,38	150,00
Koper	0	2	4	5	6
Lood	0	1	2	2	3
Zink	0	2	4	5	7
totaal	0	5	9	12	17

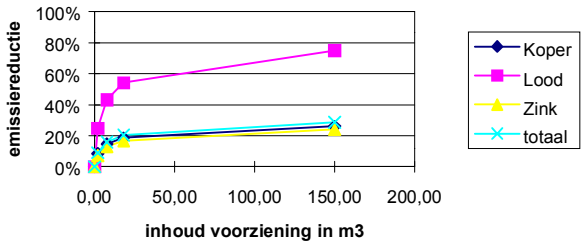
Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



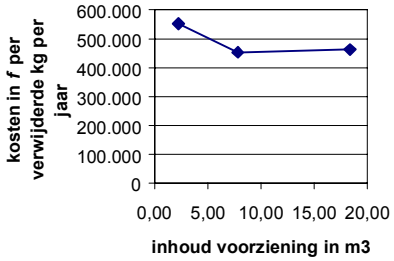
jaarlijkse kosten in F

	2,25	7,81	18,38
riolering	4.505	4.505	4.505
bezinking	2.865	4.183	5.412
totaal	7.370	8.687	9.917

kosten per verwijderde kg/j

	2,25	7,81	18,38
excl riolering	551.674	453.040	462.722
incl riolering	1.419.021	940.992	847.887

Autosnelweg ZOAB, L=250 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



ovs.vol	1228 m3/j

L=500 m
rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	0%	8%	15%	19%	26%
Lood	0%	25%	43%	54%	75%
Zink	0%	7%	13%	17%	24%
totaal	0%	9%	16%	20%	29%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	40	37	34	33	30
Lood	7	5	4	3	2
Zink	47	44	41	39	36	
totaal	94	86	79	75	67

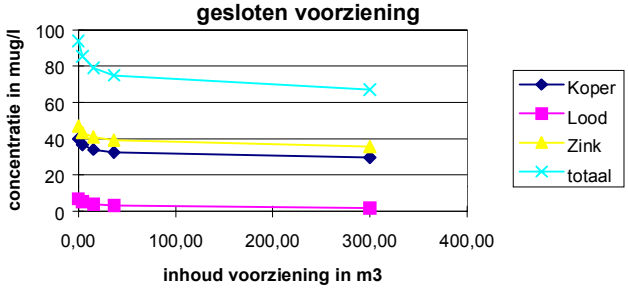
geloosde vracht in g/j

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	49	45	42	40	36
Lood	9	6	5	4	2
Zink	58	54	50	48	44
totaal	115	105	97	92	82

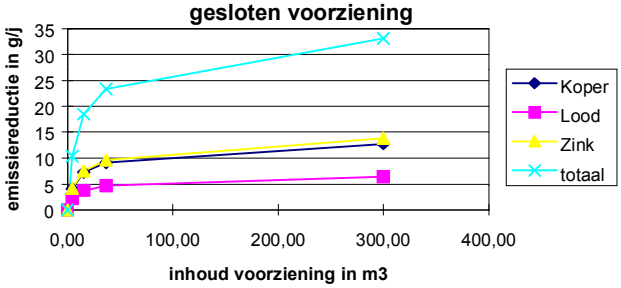
emissiereductie in g/j

	0,00	4,49	15,64	36,68	300,00
Koper	0	4	7	9	13
Lood	0	2	4	5	6
Zink	0	4	8	10	14
totaal	0	10	18	23	33

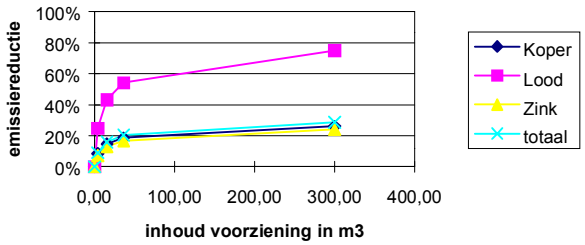
Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



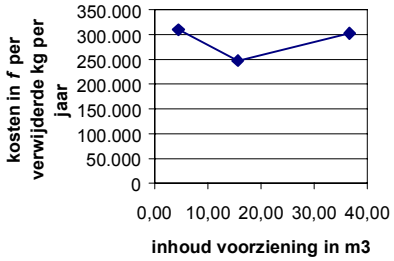
jaarlijkse kosten in F

	4,49	15,64	36,68
riolering	8.611	8.611	8.611
bezinking	3.219	4.571	7.065
totaal	11.830	13.182	15.676

kosten per verwijderde kg/j

	4,49	15,64	36,68
excl riolering	309.924	247.549	302.026
incl riolering	1.138.886	713.906	670.145

Autosnelweg ZOAB, L=500 m, B=11,4 m
gesloten voorziening



ovs.vol	3684 m3/j

L=750 m

rendement bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	0%	8%	15%	19%	26%
Lood	0%	25%	43%	54%	75%
Zink	0%	7%	13%	17%	24%
totaal	0%	9%	16%	20%	29%

conc. in mug/l bij inhoud voorziening in m3

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	40	37	34	33	30
Lood	7	5	4	3	2
Zink	47	44	41	39	36
totaal	94	86	79	75	67

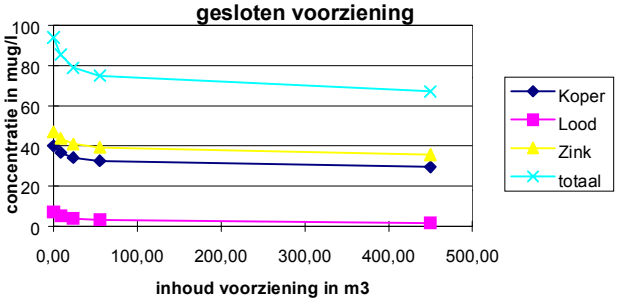
geloosde vracht in g/j

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	147	135	126	120	109
Lood	26	19	15	12	6
Zink	173	161	151	144	132
totaal	346	315	291	276	247

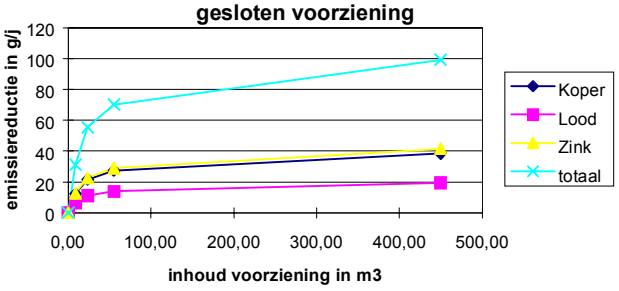
emissiereductie in g/j

	0,00	8,45	23,49	55,09	450,00
Koper	0	12	22	27	38
Lood	0	6	11	14	19
Zink	0	13	23	29	42
totaal	0	31	55	70	99

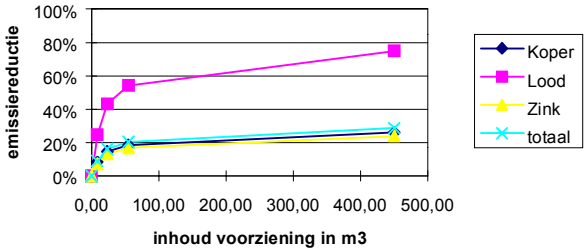
Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m gesloten voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m gesloten voorziening



Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m gesloten voorziening



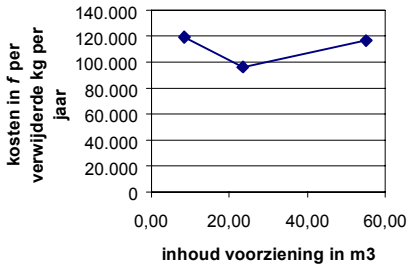
jaarlijkse kosten in F

	8,45	23,49	55,09
riolering	13.431	13.431	13.431
bezinking	3.717	5.326	8.185
totaal	17.148	18.757	21.617

kosten per verwijderde kg/j

	8,45	23,49	55,09
excl riolering	119.268	96.152	116.642
incl riolering	550.262	338.620	308.035

Autosnelweg ZOAB, L=750 m, B=11,4 m gesloten voorziening



Bijlage 7: Infiltratie bestaande berm

NIVBAKH	DAB	ZOAB		opmerkingen
lengte wegvak	500	500	m	
breedte weg	7,5	11,4	m	
oppervlakte weg	3750	5700	m2	
breedte berm	10	10	m	
oppervlak berm	5000	5000	m2	
oppervlakteberging berm	2	2	mm	
	10	10	m3	
inloop van weg	2250	1206	m3/j	
neerslag op berm	4000	4000	m3/j	
totaal afstromende neerslag	6250	5206	m3/j	
k-waarde	1	1	m/d	
infiltratiedebiet	0,0579	0,0579	m3/s	
	56	37	mm/h	ten opzichte van wegoppervlak
geïnfiltreerd	6221	5172		
overgestort	29	34		
	0,5%	0,7%		

NIVBAKI	DAB	ZOAB		opmerkingen
lengte wegvak	500	500	m	
breedte weg	7,5	11,4	m	
oppervlakte weg	3750	5700	m2	
breedte berm	10	10	m	
oppervlak berm	5000	5000	m2	
oppervlakteberging berm	2,5	2,5	mm	
	12,5	12,5	m3	
inloop van weg	2250	1206	m3/j	
neerslag op berm	4000	4000	m3/j	
totaal afstromende neerslag	6250	5206	m3/j	
k-waarde	0,1	0,1	m/d	
infiltratiedebiet	0,0058	0,0058	m3/s	
	6	4	mm/h	ten opzichte van wegoppervlak
geïnfiltreerd	5574	4537		
overgestort	676	669		
	11%	13%		

NIVBAKJ	DAB	ZOAB		opmerkingen
lengte wegvak	500	500	m	
breedte weg	7,5	11,4	m	
oppervlakte weg	3750	5700	m2	
breedte berm	10	10	m	
oppervlak berm	5000	5000	m2	
oppervlakteberging berm	2	2	mm	
	10	10	m3	
inloop van weg	2250	1206	m3/j	
neerslag op berm	4000	4000	m3/j	
totaal afstromende neerslag	6250	5206	m3/j	
k-waarde	0,01	0,01	m/d	
infiltratiedebiet	0,0006	0,0006	m3/s	
	0,6	0,4	mm/h	ten opzichte van wegoppervlak
geïnfiltreerd	3511	3069		
overgestort	2739	2137		
	44%	41%		

Bijlage 8: Kosten

Basisprijzen

onderdelen	prijs per eenheid	autoweg, kosten bij verschillende weglengten: 250 m aantal	250 m kosten	500 m aantal	500 m kosten	750 m aantal	750 m kosten	autosnelweg, kosten bij verschillende weglengten: 250 m aantal	250 m kosten	500 m aantal	500 m kosten	750 m aantal	750 m kosten
Aanvoerriolering													
controle putten	F 2.500 /st	10	F 25.000	14	F 35.000	18	F 45.000	4	F 10.000	6	F 15.000	9	F 22.500
riool ø 250	F 80 /m	512,5	F 41.000	1000	F 80.000	1500	F 120.000	167	F 13.360	200	F 16.000	192	F 15.360
riool ø 300	F 85 /m	10	F 850	12,5	F 1.063	12,5	F 1.063	107	F 9.095	200	F 17.000	186	F 15.810
riool ø 400	F 110 /m	0	F -	10	F 1.100	10	F 1.100	0	F -	124	F 13.640	372	F 40.920
riool ø 500	F 165 /m	0	F -	0	F -		F -	0	F -	0	F -	24	F 3.960
kolken + aansluiting	F 670 /st	36	F 24.120	70	F 46.900	102	F 68.340	18	F 12.060	35	F 23.450	51	F 34.170
Subtotaal			F 90.970		F 164.063		F 235.503		F 44.515		F 85.090		F 132.720
Voorziening open													
klein													
ontgraven	F 10 /m3	30,47	F 305	43,32	F 433	89,46	F 895	30,47	F 305	43,32	F 433	89,46	F 895
folie	F 20 /m2	13,75	F 275	20,78	F 416	32,68	F 654	13,75	F 275	20,78	F 416	32,68	F 654
put	F 3.000 /st	1	3.000	1	3.000	1	3.000	1	3.000	1	3.000	1	3.000
afvoerriool	/m	10	850	10	1.100	10	1.100	10	850	10	1.100	10	1.100
Subtotaal			F 4.430		F 4.949		F 5.648		F 4.430		F 4.949		F 5.648
middel													
ontgraven	F 10 /m3	46,41	F 464	70,34	F 703	143,45	F 1.435	46,41	F 464	70,34	F 703	143,45	F 1.435
folie	F 20 /m2	22,50	F 450	36,13	F 723	56,15	F 1.123	22,50	F 450	F 36	F 723	56,15	F 1.123
put	F 3.000 /st	1	3.000	1	3.000	1	3.000 0	1	3.000	1	3.000	1	3.000
afvoerriool	variabel	10	850	10	1.100	10	1.100 0	10	850	10	1.100	10	1.100
Subtotaal			F 4.764		F 5.526		F 6.657		F 4.764		F 5.526		F 6.657
groot													
ontgraven	F 10 /m3	104,92	F 1.049	157,69	F 1.577	363,16	F 3.632	104,92	F 1.049	157,69	F 1.577	363,16	F 3.632
folie	F 20 /m2	39,30	F 786	62,46	F 1.249	102,01	F 2.040	39,30	F 786	62,46	F 1.249	102,01	F 2.040
put	F 3.000 /st	1	3.000	1	3.000	1	3.000 0	1	3.000	1	3.000	1	3.000
afvoerriool	F - /m	10	850	10	1.100	10	1.100 0	10	850	10	1.100	10	1.100
Subtotaal			F 5.685		F 6.926		F 9.772		F 5.685		F 6.926		F 9.772
Voorziening gesloten													
klein													
elementen	variabel	2	F 3.260	3	F 4.890	4	F 9.720	2	F 3.260	3	F 4.890	4	F 9.720
afspannen	F 1.800	0	F -	1	F 1.800	1	F 1.800	0	F -	1	F 1.800	1	F 1.800
schacht	F 520 /st	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520
putrand	F 330 /st	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330
kopwand	variabel	2	F 1.400	2	F 1.400	2	F 1.600	2	F 1.400	2	F 1.400	2	F 1.600
aansluiting 250	F 250 /st	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500
plaatsen duiker	variabel	1	F 2.400	1	F 2.400	1	F 2.400	1	F 2.400	1	F 2.400	1	F 2.400
grondwerk	F 10 /m2	10	F 100	25	F 250	60	F 600	10	F 100	25	F 250	60	F 600
afvoerriool	variabel	10	F 850	10	F 1.100	10	F 1.100	10	F 850	10	F 1.100	10	F 1.100
Subtotaal			F 9.360		F 13.190		F 18.570		F 9.360		F 13.190		F 18.570
middel													
elementen	variabel	4	F 8.400	5	F 12.150	6	F 18.720	4	F 8.400	5	F 12.150	6	F 18.720
afspannen	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800
schacht	F 520 /st	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520
putrand	F 330 /st	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330
kopwand	variabel	2	F 1.600	2	F 1.600	2	F 1.800	2	F 1.600	2	F 1.600	2	F 1.800
aansluiting 250	F 250 /st	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500
plaatsen duiker	variabel	1	F 3.600	1	F 3.600	1	F 4.800	1	F 3.600	1	F 3.600	1	F 4.800
grondwerk	F 10 /m2	60	F 600	80	F 800	100	F 1.000	60	F 600	80	F 800	100	F 1.000
afvoerriool	variabel	10	F 850	10	F 1.100	10	F 1.100	10	F 850	10	F 1.100	10	F 1.100
Subtotaal			F 18.200		F 22.400		F 30.570		F 18.200		F 22.400		F 30.570
groot													
elementen	variabel	5	F 15.590	7	F 30.520	12	F 42.240	5	F 15.590	7	F 30.520	12	F 42.240
afspannen	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800	1	F 1.800
schacht	F 520 /st	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520	1	F 520
putrand	F 330 /st	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330	1	F 330
kopwand	variabel	2	F 1.800	2	F 3.000	2	F 3.000	2	F 1.800	2	F 3.000	2	F 3.000
aansluiting 250	F 250 /st	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500	2	F 500
plaatsen duiker	variabel	1	F 3.600	1	F 4.800	1	F 4.800	1	F 3.600	1	F 4.800	1	F 4.800
grondwerk	F 10 /m2	110	F 1.100	140	F 1.400	180	F 1.800	110	F 1.100	140	F 1.400	180	F 1.800
afvoerriool	variabel	10	F 850	10	F 1.100	10	F 1.100	10	F 850	10	F 1.100	10	F 1.100
Subtotaal			F 26.090		F 43.970		F 56.090		F 26.090		F 43.970		F 56.090

Jaarlijkse kosten

	Jaarlijkse kosten							Kapitaalslasten					Jaarlijkse onderhoudskosten			
code	Totaal	riolering	bezinking	infiltratie	toplaag			riolering	bezinking	infiltratie	toplaag		riolering	bezinking	infiltratie	
OD250-1	F 10.866	F 9.206	F 1.660					F 8.410	F 410				F 796	F 1.250		
OD250-2	F 11.147	F 9.206	F 1.940					F 8.410	F 440				F 796	F 1.500		
OD250-3	F 11.482	F 9.206	F 2.276					F 8.410	F 526				F 796	F 1.750		
OD500-1	F 18.311	F 16.603	F 1.708					F 15.167	F 458				F 1.436	F 1.250		
OD500-2	F 18.614	F 16.603	F 2.011					F 15.167	F 511				F 1.436	F 1.500		
OD500-3	F 18.993	F 16.603	F 2.390					F 15.167	F 640				F 1.436	F 1.750		
OD750-1	F 25.605	F 23.833	F 1.772					F 21.772	F 522				F 2.061	F 1.250		
OD750-2	F 25.948	F 23.833	F 2.115					F 21.772	F 615				F 2.061	F 1.500		
OD750-3	F 26.486	F 23.833	F 2.653					F 21.772	F 903				F 2.061	F 1.750		
OZ250-1	F 6.164	F 4.505	F 1.660					F 4.115	F 410				F 390	F 1.250		
OZ250-2	F 6.445	F 4.505	F 1.940					F 4.115	F 440				F 390	F 1.500		
OZ250-3	F 6.780	F 4.505	F 2.276					F 4.115	F 526				F 390	F 1.750		
OZ500-1	F 10.319	F 8.611	F 1.708					F 7.867	F 458				F 745	F 1.250		
OZ500-2	F 10.622	F 8.611	F 2.011					F 7.867	F 511				F 745	F 1.500		
OZ500-3	F 11.001	F 8.611	F 2.390					F 7.867	F 640				F 745	F 1.750		
OZ750-1	F 15.203	F 13.431	F 1.772					F 12.270	F 522				F 1.161	F 1.250		
OZ750-2	F 15.547	F 13.431	F 2.115					F 12.270	F 615				F 1.161	F 1.500		
OZ750-3	F 16.085	F 13.431	F 2.653					F 12.270	F 903				F 1.161	F 1.750		
BD500	F 15.972			F 11.598	F 4.374					F 4.629	F 4.374				F 2.596	
CD500	F 25.373	F 16.603	F 2.011	F 4.971	F 1.788	F	15.167	F 511	F 2.122	F 1.788	F 1.436	F 1.500	F 1.061			
Berm										F 6.319						

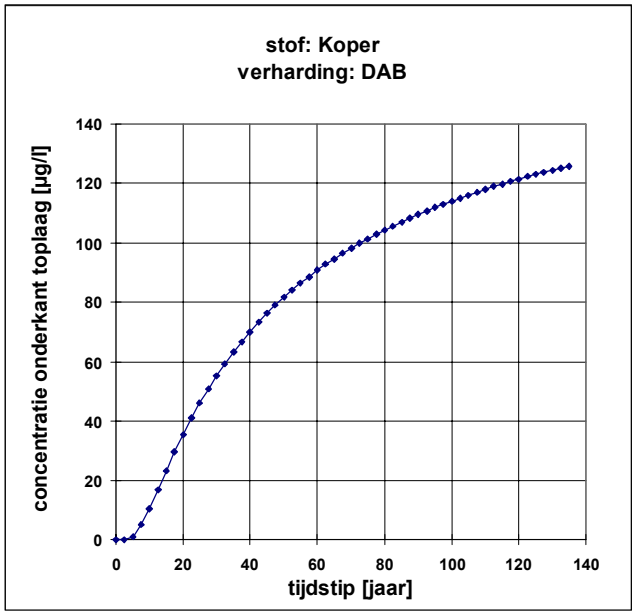
	Jaarlijkse kosten							Kapitaalslasten					Jaarlijkse onderhoudskosten			
code	Totaal	riolering	bezinking	infiltratie	toplaag			riolering	bezinking	infiltratie	toplaag		riolering	bezinking	infiltratie	
GD250-1	F 12.071	F 9.206	F 2.865					F 8.410	F 865				F 796	F 2.000		
GD250-2	F 13.389	F 9.206	F 4.183					F 8.410	F 1.683				F 796	F 2.500		
GD250-3	F 14.618	F 9.206	F 5.412					F 8.410	F 2.412				F 796	F 3.000		
GD500-1	F 19.822	F 16.603	F 3.219					F 15.167	F 1.219				F 1.436	F 2.000		
GD500-2	F 21.174	F 16.603	F 4.571					F 15.167	F 2.071				F 1.436	F 2.500		
GD500-3	F 23.668	F 16.603	F 7.065					F 15.167	F 4.065				F 1.436	F 3.000		
GD750-1	F 27.549	F 23.833	F 3.717					F 21.772	F 1.717				F 2.061	F 2.000		
GD750-2	F 29.159	F 23.833	F 5.326					F 21.772	F 2.826				F 2.061	F 2.500		
GD750-3	F 32.018	F 23.833	F 8.185					F 21.772	F 5.185				F 2.061	F 3.000		
GZ250-1	F 7.370	F 4.505	F 2.865					F 4.115	F 865				F 390	F 2.000		
GZ250-2	F 8.687	F 4.505	F 4.183					F 4.115	F 1.683				F 390	F 2.500		
GZ250-3	F 9.917	F 4.505	F 5.412					F 4.115	F 2.412				F 390	F 3.000		
GZ500-1	F 11.830	F 8.611	F 3.219					F 7.867	F 1.219				F 745	F 2.000		
GZ500-2	F 13.182	F 8.611	F 4.571					F 7.867	F 2.071				F 745	F 2.500		
GZ500-3	F 15.676	F 8.611	F 7.065					F 7.867	F 4.065				F 745	F 3.000		
GZ750-1	F 17.148	F 13.431	F 3.717					F 12.270	F 1.717				F 1.161	F 2.000		
GZ750-2	F 18.757	F 13.431	F 5.326					F 12.270	F 2.826				F 1.161	F 2.500		
GZ750-3	F 21.617	F 13.431	F 8.185					F 12.270	F 5.185				F 1.161	F 3.000		
BZ500	F 8.139			F 5.934	F 2.205					F 2.420	F 2.205				F 1.308	
CZ500	F 16.488	F 9.302	F 3.011	F 3.203	F 971	F	7.866,51	F 511	F 1.656	F 971	F 1.436	F 2.500	F 576			
Berm										F 4.160						

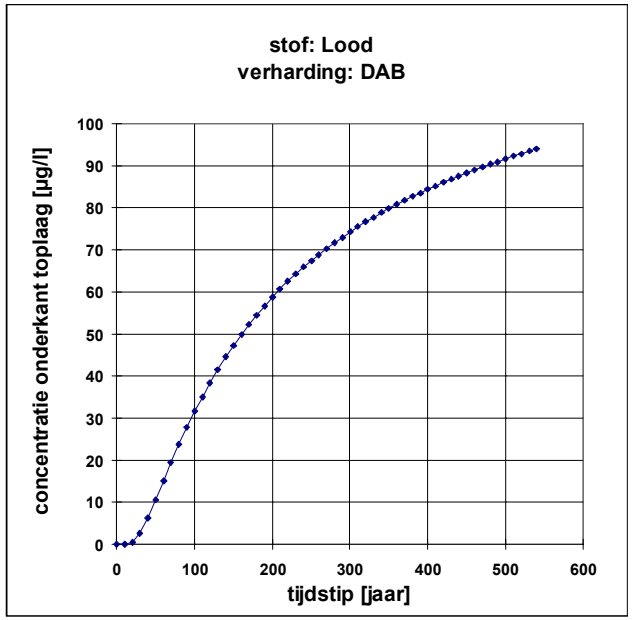
Uitvoering en risico	25,0%
Engineering	12,5%
Onvolledigheidstoeslag	10,0%
Onvoorzien	10,0%
BTW	17,5%
Totaal	75,0%

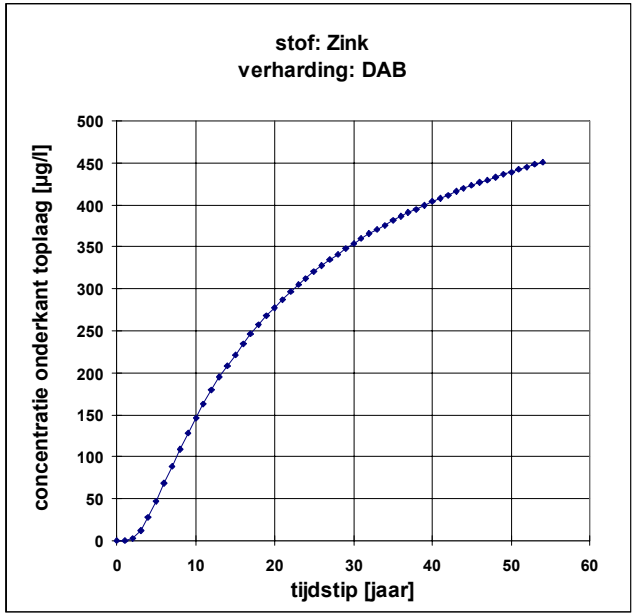
Rente	5%
Levensduur riolering	60
Levensduur bezinking	60
Levensduur infiltratie	60
Levensduur toplaag ZOAB	60
Levensduur toplaag DAB	20

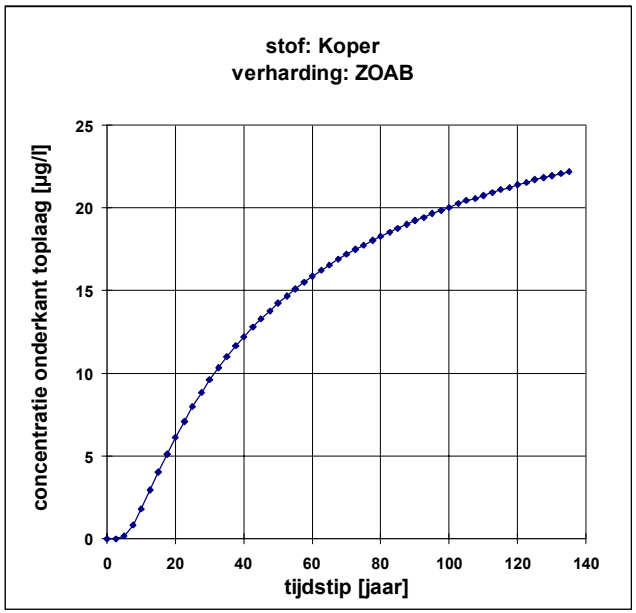
Percentage onderhoudskosten			0,5%
Stel: 1 x per jaar onderhoud aan bezinkvoorziening:			
	gesloten	open	
klein	2.000	1.250	
middel	2.500	1.500	
groot	3.000	1.750	
Onderhoudskosten infiltratie per m3		2,5	
Vervangen toplaag:		100	/m3 (incl storten uit: Leidsche Rijn).

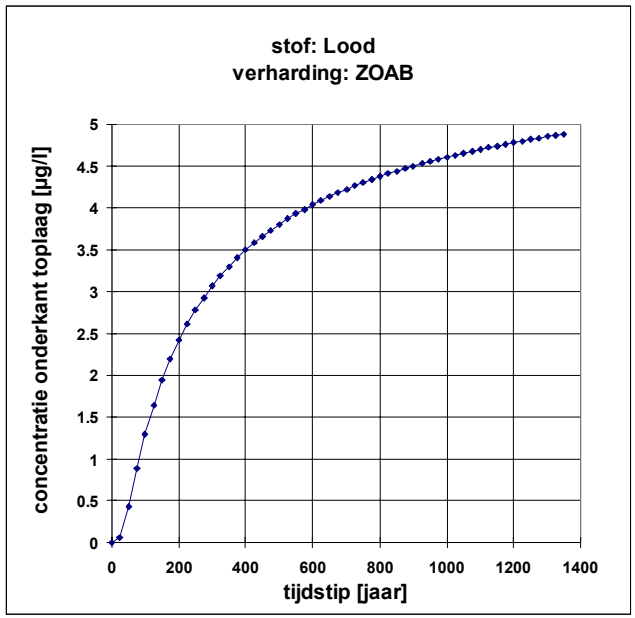
Bijlage 9: Berekeningen kwaliteitsaspecten bestaande berm

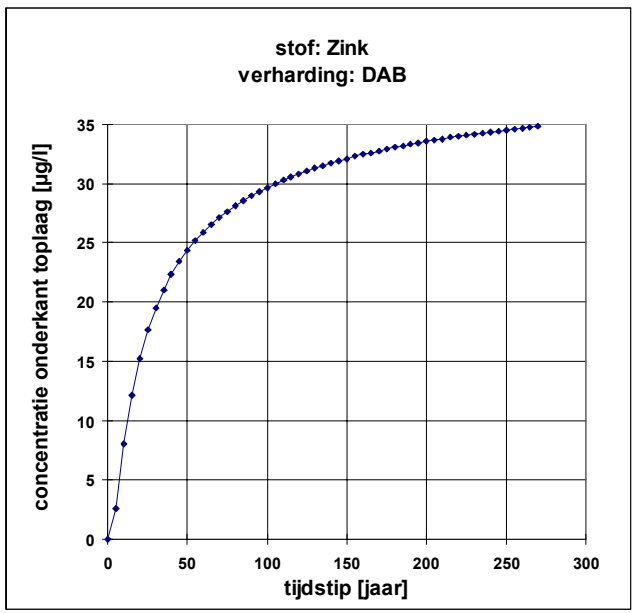

stof: Koper
verharding: DAB
concentratie onderkant toplaag [µg/l]
tijdstip [jaar]
0
20
40
60
80
100
120
140


stof: Lood
verharding: DAB
concentratie onderkant toplaag [µg/l]
tijdstip [jaar]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
100
200
300
400
500
600


stof: Zink
verharding: DAB
concentratie onderkant toplaag [µg/l]
tijdstip [jaar]
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
0
10
20
30
40
50
60


stof: Koper
verharding: ZOAB
concentratie onderkant toplaag [µg/l]
tijdstip [jaar]
0
5
10
15
20
25
0
20
40
60
80
100
120
140


stof: Lood
verharding: ZOAB
concentratie onderkant toplaag [µg/l]
tijdstip [jaar]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
0
200
400
600
800
1000
1200
1400


stof: Zink
verharding: DAB
concentratie onderkant toplaag [µg/l]
tijdstip [jaar]
0
5
10
15
20
25
30
35
0
50
100
150
200
250
300

@ Grontmij