



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

B&O-DH - R 2005/176

Zink in stedelijk oppervlaktewater

Datum	5 juli 2005
Auteurs	E.M. Foekema C.C. Karman
Projectnummer	34586
Trefwoorden	Zink, Amsterdam, oppervlaktewater, sediment, bronnen
Bestemd voor	Stichting Duurzaam Bouwmetaal

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Op verzoek van de Stichting Duurzaam Bouwmetaal (DBM) werd onderhavige studie uitgevoerd naar de belasting van stedelijk water door bouwmetalen. Aanleiding hiertoe was het feit dat volgens verscheidene studies (Tilborg, 2001; Gijlswijk & Korenromp, 2003) gebleken was dat de uitspoeling uit de bodem een veel grotere bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater geeft dan voorheen gedacht. Deze studies werden bevestigd door een uitgebreide modelstudie van Alterra (Bonten *et al.*, 2004). DBM werd geconfronteerd met de stelling dat landelijk de bodemuitspoeling dan wel de dominante bron voor metaal in oppervlaktewater is, maar dat in stedelijk gebied door de aanwezigheid van veel meer zink, bouwzink nog steeds de belangrijkste bron blijft. DBM heeft daarom TNO verzocht dit uit te zoeken voor Amsterdam en uit deze gegevens zo mogelijk meer algemene gevolgtrekkingen te maken.

Eerst werd onderzocht in hoeverre de emissies in Amsterdam en Utrecht invloed hebben op de milieukwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater. Daartoe werden metingen verricht van de metaalconcentraties bij binnenstromen zowel als van het grachtenwater dat de stad verlaat. Het bleek dat er voor de metalen zink, koper en lood nagenoeg geen verschil in concentratie was waar te nemen. Een mogelijke uitzondering daarop wordt gevormd door zink in Amsterdam, dat volgens enkele metingen een marginaal lagere concentratie heeft bij water dat de stad verlaat dan bij binnenstromen.

Vergelijking van de in Amsterdam gemeten zinkgehalten in deze studie met die van de Dienst Waterbeheer en Riolering (DWR) leert dat beiden redelijk overeenkomen en dat het MTR van zink in het algemeen niet wordt overschreden.

Vervolgens werd onderzocht in hoeverre afgespoeld zink zou kunnen zijn opgenomen in het sediment. Daartoe werd een bronnenonderzoek gedaan. Daarbij bleek dat het zink dat aanwezig is in de Amsterdamse grachten (water zowel als slib) voor circa 85% afkomstig is van het binnenstromende water. De tweede belangrijke bron blijkt de atmosferische depositie te zijn met een bijdrage van circa 7%. Het aandeel van de afspoeling van bouwzink wordt in deze studie geschat op circa 2%. Daarbij is rekening gehouden met zink gebruikt in goten, de deels directe afwatering van goten naar de grachten, zink gebruikt in andere toepassingen dan goten en de bijdragen afkomstig uit overstorten. Andere geïdentificeerde bronnen zijn verkeer (circa 1%), kwel (circa 2%) en een overstort-bijdrage (1%) van zink van huishoudelijke oorsprong (dat niet van afspoeling afkomstig is). Het afgespoelde zink bleek, indien het totaal in oplossing zou blijven, een concentratieverhoging van het grachtenwater te kunnen veroorzaken van 0,4 µg zink per liter. Daarmee is de concentratieverhoging als gevolg van de afspoeling van bouwzink in de praktijk niet meetbaar.

Tenslotte werd nagegaan welke consequenties de verkregen gegevens hebben voor andere stedelijke locaties. In steden met een grachtenstelsel dat vergelijkbaar is met Amsterdam, dat dus ook veelvuldig doorspoeld wordt met oppervlaktewater, zal het aandeel van zink veelal in dezelfde orde van grootte liggen als in Amsterdam. Het waterstelsel van de meeste steden is echter uitgevoerd met een gemengd riool en relatief stagnant stedelijk oppervlaktewater. In die gevallen is de relatieve bijdrage van afspoelend bouwzink nagenoeg nihil, tenzij er rioolwater-overstorten op het stedelijk water aanwezig zijn. Op basis van de Amsterdamse gegevens kan in dat laatste geval de relatieve bijdrage van bouwzink enkele procenten bedragen. De meest ongunstige situatie bestaat uit een gescheiden riolsysteem waarvan het regenwaterriool ongezuiverd loost op stagnant stedelijk water. In die situatie kan de relatieve bijdrage van bouwzink oplopen tot boven 30%. Dit is een situatie die steeds minder voorkomt, omdat in zulke situaties vaker een voorzuivering wordt toegepast (bodempassage, wadi, epifytenfilter, etc.).

Bovendien zal een regenwaterriool veelal lozen op stromend water. De gevolgen voor die situatie hangen af van de lokale omstandigheden. Deze zijn uitgewerkt voor de hypothetische situatie dat de grachtengordel van Amsterdam een geheel gescheiden riool heeft en dat alle hemelwater ongezuiverd op de grachten wordt geloosd. In dat geval ligt de relatieve bijdrage van bouwzink aan de zinkbelasting van het grachtenwater rond de 6%.

Bovenstaande schattingen zijn geënt op de Amsterdamse situatie. Indien de lokale situatie daarvan substantieel afwijkt, is het belangrijk een analyse te maken op grond van de plaatselijke condities.

Geconcludeerd kan worden dat de relatieve bijdrage van de afspoeling van bouwzink in het algemeen, ook voor stedelijk oppervlaktewater, onder de 10% en meestal onder de 5% van de totale zinkbelasting blijft.

Inhoud

	pagina
Samenvatting	3
Inleiding	7
Deel I : Gemeten metaalgehalten in het water van Amsterdam en Utrecht	8
1.1 Inleiding.....	8
1.2 Bemonsteringslocaties	8
1.3 Resultaten	9
Deel II: Het relatieve aandeel van verschillende zinkbronnen in Amsterdam	13
1. Afbakening.....	13
1.1 Doel	13
1.2 Gebiedsafbakening	13
1.3 Definitie van bronnen en verliesposten	14
2. Bronnen.....	16
2.1 Individuele bronnen.....	16
2.1.1 Oppervlaktewater	16
2.1.2 Atmosferische depositie	16
2.1.3 Verkeer.....	17
2.1.4 Bladafval	18
2.1.5 Bouwmatalen.....	19
2.1.6 Bijdragen via de overstorten van rioolwater	21
2.1.7 Uitspoeling uit de bodem	22
2.2 Relatief aandeel van de verschillende bronnen	23
2.3 Onzekerheden in de schattingen	24
3. Verliesposten.....	25
3.1 Individuele verliesposten.....	25
3.1.1 Oppervlaktewater	25
3.1.2 Sediment.....	25
4. Zinkbalans.....	27
5. Consequenties voor andere stedelijke locaties.....	29
5.1 Stedelijke grachtenstelsels.....	29
5.2 Steden zonder grachtenstelsel met gemengd riool en stagnant stedelijk water	29
5.3 Directe lozingen van bouwzink en lozingen van gescheiden rioolstelsels, op stagnant water	30

5.4	Directe lozingen van bouwzink en lozingen van gescheiden rioolstelsels, op stromend water.....	31
	Discussie & Conclusies	33
	Referenties.....	35
	Verantwoording.....	37

Inleiding

Na de sanering van de industriële puntbronnen voor non-ferrometalen krijgen de diffuse bronnen voor de metalen zink, koper en lood steeds meer aandacht. De afname van de concentraties van deze metalen in het Nederlandse oppervlaktewater lijkt te stagneren. Men veronderstelt dat deze stagnatie veroorzaakt wordt doordat de diffuse bronnen even groot gebleven zijn. De belasting van het oppervlaktewater door deze metalen wordt veelal toegeschreven aan afspoeling uit bouwmaterialen (bouwmetalen).

Recent onderzoek heeft echter aangetoond dat veruit de grootste bron voor zink, koper en lood de uitspoeling uit de bodem is (Alterra, 2004). Op grond hiervan kan worden berekend dat in Nederland de bouwmetalen slechts een marginale bijdrage (<5%) leveren aan de metalenbelasting van het oppervlaktewater. Omdat in stedelijk gebied de toepassing van bouwmetalen veel frequenter plaatsvindt dan in landelijk gebied wordt echter vaak verondersteld dat de belasting van stedelijk oppervlaktewater hoofdzakelijk door bouwmetalen wordt veroorzaakt (RIZA, 2000). Zo zou volgens een recente publicatie, 50% van het zink in de kanalen en rivieren van Amsterdam afkomstig zijn van afspoeling van bouwzink (Gouman, 2004).

De ‘Beleidsbrief Regenwater en Riolering’ (BWL/2004052003) die door VROM werd gezonden aan de Tweede Kamer, geeft aan dat het toekomstige beleid gericht zal zijn op een verdere scheiding van de regenwaterafvoer van de riolering. Vaak wordt de afwezigheid van bouwmetaal gezien als een voorwaarde voor een verantwoorde invoering van gescheiden rioolstelsels vanwege de veronderstelling dat de afspoeling van blootgesteld bouwmetaal grotendeels de belasting van het oppervlaktewater bepaalt (Lambrechts & de Jong, 1996).

De stichting Duurzaam Bouwmetaal (DBM) heeft TNO verzocht de veronderstelling te verifiëren dat bouwmetaal een substantiële bijdrage levert aan de metaalgehalten van stedelijk oppervlaktewater door metingen te verrichten aan het grachtenwater van Amsterdam en Utrecht. De resultaten van deze metingen, en die van metingen door derden, vormen het eerste deel van dit rapport.

Uit de metingen bleek dat de concentratie van de metalen bij doorstroming van de stad niet toenam. Om het aandeel van de verschillende zinkbronnen in de stad in kaart te brengen werd een analyse uitgevoerd, waarbij de Amsterdamse binnenstad centraal stond. Het doel van deze analyse was aan te geven welke bronnen in welke mate verantwoordelijk zijn voor het zinkgehalte in het grachtenwater en -slib. In het tweede deel van dit rapport worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd.

Deel I : Gemeten metaalgehalten in het water van Amsterdam en Utrecht

1.1 Inleiding

In het najaar van 2002 en 2003 is door TNO-MEP oppervlaktewater bemonsterd in de steden Amsterdam en Utrecht. In elke stad werden watermonsters verzameld op twee plaatsen die representatief werden geacht voor het water dat de stad binnen komt en het water dat de stad verlaat.

Het doel van deze bemonsteringen was om vast te stellen of de aanwezigheid van de bebouwing een meetbare invloed heeft op de gehalten van de geanalyseerde metalen in het oppervlaktewater. De bemonsteringen werden uitgevoerd na een periode van ten minste drie dagen regenachtig weer. Gedurende deze periode zou een eventuele verhoogde zinkconcentratie in het stedelijk oppervlaktewater kunnen ontstaan doordat regenwater naar de grachten wordt afgevoerd via een systeem van metaalhoudende dakbedekking, goten en afvoerleidingen.

1.2 Bemonsteringslocaties

In 2002 is te Amsterdam gemonsterd aan de Amstel (instroom) en aan de Prins Hendrikkade (uitstroom). Bij de tweede bemonstering in 2003 is voor een andere 'uitstroom' locatie gekozen, omdat het monsterpunt aan de Prins Hendrik Kade verstoord was door bouwwerkzaamheden. Bovendien was het een plaats waar veel beweging van rondvaartboten plaats vond. Als alternatief is gekozen te monstern voor het sluizencomplex aan het Singel.

In Utrecht is in beide jaren op dezelfde plaats bemonsterd: aan het begin van de Vaartse Rijn, ter hoogte van de Zuiderbrug (instroom), en aan de Vecht nabij Oud-Zuilen (uitstroom).

Alle bemonsteringen zijn uitgevoerd in het najaar na een periode van ten minste drie dagen regenachtig weer. Van de metalen koper, lood en zink werd naast de concentraties in het totale monster tevens de opgeloste fractie bepaald na filtratie over een 0,45 µm filter.

1.3 Resultaten

De resultaten van de chemische analyses zijn weergegeven in Tabel 1 en Tabel 2. In het algemeen is er sprake van lage gehalten en zijn er nauwelijks verschillen tussen de locaties. In Amsterdam lijkt de zinkconcentratie in het uitstromende water meestal iets lager (in 2002: 4 µg/l) dan die in het water dat de stad binnenstroomt. In 2003 werden extreem hoge zinkgehalten gemeten in het bemonsterde oppervlaktewater op alle locaties. Omdat deze gehalten onwaarschijnlijk hoog waren in vergelijking met andere metingen, zijn zij als onbetrouwbaar beschouwd en verder niet in verdere berekeningen meegenomen. Een monstertechnische of analytische verklaring voor de afwijkende waarden is echter niet voorhanden, wel is bekend dat de zinkgehalten in het oppervlaktewater in de tijd sterk kan fluctueren (Tilborg, 2000).

Er is in elk geval (ook niet voor de 2003 monsters) geen sprake van substantiële verhoging van de concentraties van de gemeten metalen na passage van de stad. In vijf van de zeven gevallen waar wel van een verhoging sprake is (Amsterdam: opgelost zink in 2002 en totaal en opgelost koper en opgelost lood in 2003; Utrecht: totaal en opgelost lood en opgelost zink in 2002) droeg dit niet bij aan een eventuele overschrijding van de MTR-waarde.

Voor de volledigheid zijn de metingen van metaalconcentraties gecompleteerd met metingen van de abiotische condities. Deze bepalen mede de biobeschikbaarheid en dus de potentiële milieueffecten, van de aanwezige metalen (Kramer *et al.*, 2001). De belangrijkste factoren daarbij zijn de opgeloste verbindingen van organische oorsprong (*Total en Dissolved Organic Carbon* (resp. TOC en DOC)) en de hardheid.

Tabel 1: Gehalten koper (Cu), Lood (Pb) en Zink (Zn) in de watermonsters genomen in Amsterdam in respectievelijk 2002 en 2003. In de laatste kolom is de minimum kwaliteit (MTR) voor oppervlaktewater opgenomen zoals vastgelegd in de 4^e nota waterhuishouding. Vetgedrukte waarden geven een overschrijding van deze MTR-waarde aan. Waarden tussen haakjes worden als onbetrouwbaar beschouwd (zie tekst).

Amsterdam	2002		2003		MTR
	instroom	uitstroom	Instroom	Uitstroom	
Totaal					
Cu (µg/l)	7	7	2	4	3,8
Pb (µg/l)	4	2	<3	<3	220
Zn (µg/l)	15	11	(79)	(72)	40
Opgelost					
Cu (µg/l)	4	4	2	3	1,5
Pb (µg/l)	<1	<1	2	3	11
Zn (µg/l)	<5	8	(69)	(66)	9,4
Abiotische condities					
pH	7,6	7,8	7,7	7,5	
TOC (mg/l)	34	14	20	8,8	
DOC (mg/l)		17	13	5,4	
Cl (mg/l)	430	1700	556	1551	
SO ₄ (mg/l)	94	250	120	250	
CO ₃ (mg/l)	<6	<6	<6	<6	
Na (mg/l)	240	930	250	750	
Ca (mg/l)	110	110	110	110	
Mg (mg/l)	36	120	40	100	

Tabel 2. Gehalten koper (Cu), Lood (Pb) en Zink (Zn) in de watermonsters genomen in Utrecht in respectievelijk 2002 en 2003. In de laatste kolom is de minimum kwaliteit (MTR) voor oppervlaktewater opgenomen zoals vastgelegd in de 4^e nota waterhuishouding. Vetgedrukte waarden geven een overschrijding van deze MTR-waarde aan. Waarden tussen haakjes worden als onbetrouwbaar beschouwd (zie tekst).

Utrecht	2002		2003		MTR
	instroom	uitstroom	Instroom	Uitstroom	
Totaal					
Cu (µg/l)	5	5	4	3	3,8
Pb (µg/l)	<1	2	<3	<3	220
Zn (µg/l)	10	19	(78)	(67)	40
Opgelost					
Cu (µg/l)	4	4	4	3	1,5
Pb (µg/l)	<1	<1	2	<1	11
Zn (µg/l)	<5	12	(64)	(27)	9,4
Abiotische condities					
pH	7,9	7,6	7,7	7,2	
TOC (mg/l)	<5	7.3	<5.0	9.9	
DOC (mg/l)	7.5	<5	<5	5.6	
Cl (mg/l)	88	78	n.d.	83	
SO ₄ (mg/l)	56	59	75	62	
CO ₃ (mg/l)	<6	<6	<6	<6	
Na (mg/l)	43	48	59	53	
Ca (mg/l)	68	65	72	57	
Mg (mg/l)	9,8	9,2	11	8,4	

Geconcludeerd kan worden dat het water dat de stad doorstroomt niet duidelijk wordt opgeladen met de metalen koper en lood. In Amsterdam (niet in Utrecht) vindt er wel een substantiële oplading plaats vindt van sulfaat, chloride, natrium en magnesium.

Er zijn ook geen duidelijke aanwijzingen dat bij passage van Amsterdam het zinkgehalte van het oppervlaktewater toeneemt. In Utrecht werden in 2002 wel hogere zinkgehalten gevonden in het uitstromende water.

Metingen van DWR van het zinkgehalte in het Amsterdamse grachtenwater en de Amstel geven ook geen indicatie dat het zinkgehalte in deze stad toeneemt (Tabel 3). De afspoeling van bouwmetalen leidt kennelijk niet tot een concentratieverhoging van het water in de Amsterdamse grachten.

Indien wordt aangenomen dat er door afspoeling wel een substantiële hoeveelheid zink in de grachten terecht komt, roept dit de vraag op in hoeverre deze metalen rechtstreeks in het sediment worden opgevangen.

Tabel 3 Samenvatting van meetgegevens van DWR van het totaal zinkgehalte in oppervlakte water van Amsterdam tussen 1998 en 2002

µg Zn/l	maximum	Minimum	Gemiddelde
Keizersgracht	30,5	10,8	15,7
Brouwersgracht	28	11,4	17,4
Amstel nr 319	26,5	10,2	13,7
Amstel Berlagebr.	24,5	12,7	17,8
Zeeburg	21,2	4,4	12,5

Deel II: Het relatieve aandeel van verschillende zinkbronnen in Amsterdam

1. Afbakening

1.1 Doel

In het vorige deel is vastgesteld dat het water dat Amsterdam uitstroomt niet een verhoogd metaalgehalte heeft ten opzichte van het water dat de stad binnenkomt. Deze waarneming heeft de vraag opgeroepen of dan misschien deze metalen in het sediment worden afgevangen. Dit is echter niet eenvoudig vast te stellen. Als alternatief is ervoor gekozen om een bronnenanalyse voor zink uit te voeren. Hiermee kan de relatieve bijdrage van de afspoeling van zink uit bouwmetalen aan de totale belasting zink worden geschat.

Het doel van de in dit deel beschreven studie is het in kaart brengen van de zinkbalans van de Amsterdamse grachten. Om de zinkbalans voor de Amsterdamse grachten in kaart te brengen is het nodig om de (belangrijkste) zinkbronnen te identificeren en te kwantificeren, en om inzicht te krijgen in de verliesposten voor zink. Deze gegevens zijn gebruikt om het aandeel van de verschillende bronnen in de gehalten van zink in het Amsterdamse grachtenwater en –sediment te schatten. Hierbij is specifiek gekeken naar het aandeel van zink dat afkomstig is uit in de stad toegepaste bouwmetalen.

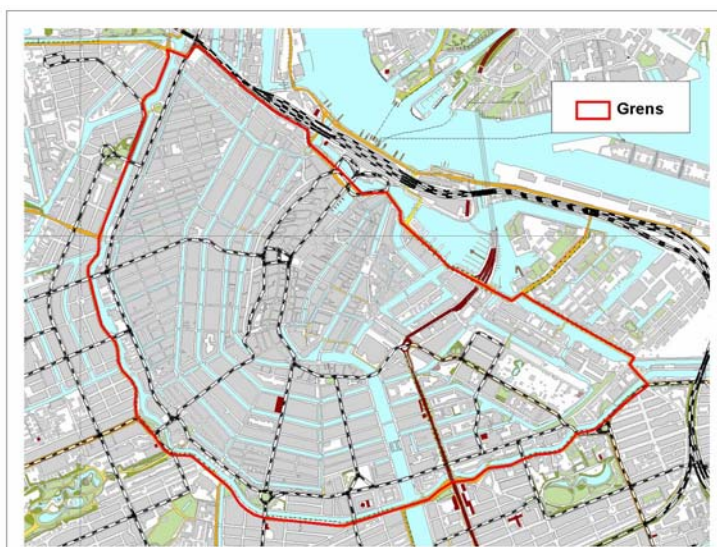
1.2 Gebiedsafbakening

Deze studie is uitgevoerd voor het gebied dat is omschreven als de Amsterdamse grachtengordel en dat wordt begrensd door de Nassaukade, Stadhouderskade, Mauritskade en de Prins Hendrikskade (Figuur 1).

Het totale oppervlak van het gebied is 5963027 m² waarvan ca. 16% (964190 m²) uit grachten bestaat (Kadaster Amsterdam, 2003). De waterdiepte in de grachten varieert tussen 220 en 360 cm, met een gemiddelde diepte van 245 cm (DWR, 2004). Het totale watervolume in de grachten binnen het gebied bedraagt 2359493 m³.

Het water in de grachten wordt minstens eenmaal per week verversd ('s zomers vaker) door water uit het IJ-meer binnen te pompen via het verversingsgemaal Zeeburgerdijk. Via sluizen in de grachten wordt het water door de grachten geleid. Het surplus water wordt geloosd op het IJ bij de Spaarndammerdijk. Naast deze geforceerde verversing van het grachtenwater vindt continue aanvoer van water uit de Amstel plaats.

Van het verharde oppervlak (straten en daken) binnen het gedefinieerde gebied is naar schatting 70% aangesloten op het riool. Het hier verzamelde hemelwater wordt verwerkt in een rioolwaterzuiveringsinstallatie die zich buiten de grachtengordel bevindt.

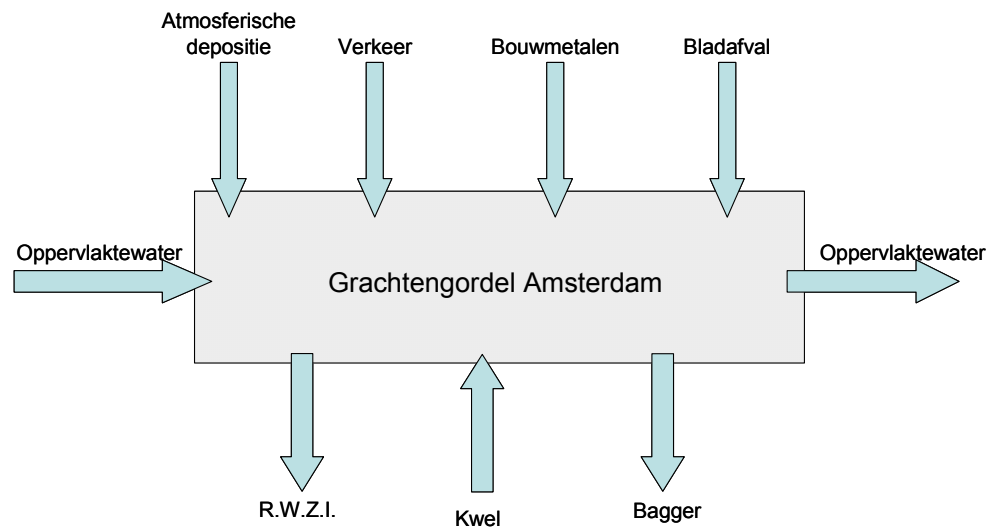


Figuur 1 Het centrum van Amsterdam, met daarin aangegeven de grenzen van het gebied waarvoor de studie is uitgevoerd.

1.3 Definitie van bronnen en verliesposten

Voor het Amsterdamse grachtenwater in het onderzoeksgebied kunnen verschillende bronnen van zink worden onderscheiden (Figuur 2). Als belangrijkste bronnen binnen de stad zijn beschouwd atmosferische depositie (regenval en stof), verkeer (afslijpsel van banden), bouwmetalen (dakbedekking en goten) en afgevallen blad dat van nature zink bevat. Een andere bron van zink wordt gevormd door het oppervlaktewater dat door de grachten spoelt. Tenslotte is ook kwelwater mogelijk een significante bron van zink. Er is echter weinig bekend over de hoeveelheid en de samenstelling van dit kwelwater in het onderzochte gebied.

Uiteraard is het niet zo dat al het zink dat via de genoemde routes het gebied binnenkomt daar ook blijft. Het merendeel (ca. 70%) van het zink dat op het verhard oppervlak zoals daken en wegen terechtkomt zal worden afgevoerd via het riool naar de buiten het gebied gelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie. Van het zink dat in het grachtenwater terechtkomt zal een deel weer met het oppervlaktewater het gebied verlaten. Een deel van het zink in het grachtenwater dat gebonden is aan zwevend materiaal zal uitzakken naar het sediment en tijdens baggerwerkzaamheden aan het gebied worden onttrokken.



Figuur 2 Schematisch overzicht van de belangrijkste bronnen en verliesposten van zink in de Amsterdamse grachtengordel

2. Bronnen

2.1 Individuele bronnen

2.1.1 Oppervlaktewater

De grachtengordel wordt continu gevoed met water uit de Amstel met een geschat gemiddeld debiet van $10 \text{ m}^3/\text{sec}$. (mededeling M. Wieten, DWR, okt. 2004). Op jaarbasis wordt er dus $315.360.000 \text{ m}^3$ water uit de Amstel door de Amsterdamse grachten gevoerd. Met dit water wordt tevens zink aangevoerd. Recent onderzoek heeft aangetoond dat uitspoeling uit bodems een belangrijke bron voor zink (en andere metalen) in oppervlaktewater vormt (Bonten *et al.*, 2004).

Meetgegevens van DWR geven aan dat het totaal zinkgehalte van het water in de Amstel tussen 1998 en 2002 gemiddeld $15,8 \mu\text{g/l}$ bedroeg (zie Tabel 3). Bij de berekening van dit gemiddelde zijn de als '0 $\mu\text{g/l}$ ' gerapporteerde waarden buiten beschouwing gelaten. Omdat er altijd een achtergrondgehalte van zink in oppervlaktewater aanwezig is, is aannemelijk dat het hier meet-/rapportagefouten betreft of waarden beneden de (niet bekende) detectielimiet. Op basis van de gemiddelde zinkconcentratie van $15,8 \mu\text{g/l}$ kan worden berekend dat per jaar gemiddeld 4.970 kg zink via de Amstel wordt aangevoerd.

Naast deze continue aanvoer van water uit de Amstel, worden de grachten geforceerd doorspoeld met water uit het IJmeer. Hiertoe wordt gedurende de zomerperiode dagelijks ca. 260.000 m^3 water de grachtengordel binnengepompt. Tijdens de winterperiode wordt deze frequentie teruggebracht naar 2 maal per week. Wanneer wordt uitgegaan van een gemiddelde frequentie van 3 maal per week (156 verversingen per jaar) dan betekent dit dat per jaar $40.560.000 \text{ m}^3$ water uit het IJmeer de grachten wordt ingepompt.

Tussen 1998 en 2000 werd door DWR in monsters uit het IJmeer een gemiddeld totaal zinkgehalte gemeten van $12,5 \mu\text{g/l}$. Uitgaande van het hierboven beschreven debiet kan worden berekend dat per jaar 505 kg zink via de verversing vanuit het IJmeer wordt aangevoerd.

2.1.2 Atmosferische depositie

Onder atmosferische depositie wordt de totale hoeveelheid materiaal verstaan dat via de lucht wordt aangevoerd en als stof of met regen neerslaat op het oppervlak. De atmosferische depositie van zink is in 2003 in Amsterdam-Noord proefondervindelijk bepaald op $0.176 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jaar}$ (Tijssen, 2003).

De totale oppervlakte van het gedefinieerde onderzoeksgebied is $5.963.027 \text{ m}^2$, Hiervan bestaat 964.190 m^2 (16%) uit wateroppervlak (grachten), en de overige

4.998.837 m² (84%) uit ‘droog oppervlak’. De totale hoeveelheid zink die vanuit de atmosfeer binnen het onderzoeksgebied neerslaat bedraagt op jaarbasis 1050 kg.

Het zink dat vanuit de atmosfeer neerslaat op het oppervlaktewater komt volledig in de gracht terecht, op jaarbasis gaat het hier om 170 kg (jaarlijkse depositie x grachtoppervlak).

Voor het ‘droge oppervlak’ kan op dezelfde wijze worden berekend dat hier in totaal 880 kg zink per jaar zal neerslaan. Omdat voor 70% van het verhard oppervlak geldt dat afspoelend (regen)water wordt afgevoerd via het riool, kan worden aangenomen dat maximaal 30% van deze hoeveelheid zink naar de gracht zal afspoelen, wat overeenkomt met 264 kg per jaar.

In totaal bedraagt de hoeveelheid zink dat jaarlijks via atmosferische depositie in de grachten terechtkomt dus 434 kg.

2.1.3 Verkeer

Verkeer vormt een bekende bron van zink. Zink is aanwezig in het rubber van de gebruikte banden en in de remlagers. Tijdens het rijden vindt slijtage van deze materialen plaats, waarbij het zink in het milieu terecht komt. Uit een vergelijking van de zinkemissie van verschillende vervoersmiddelen blijkt dat deze toeneemt met het ‘gewicht’ van het transport (Tabel 4).

Tabel 4 *Schatting van de hoeveelheden geëmitteerd zink per gereden kilometer voor verschillende voertuigen (uit Hillenbrand et al, 2004)*

	Bandenslijpsel (mg Zn/ gereden km)	Remlagers (mg Zn / gereden km)	Totaal (mg Zn / gereden km)
Bromfiets	0,23	0,12	0,35
Motor	0,46	0,24	0,7
Pers. Auto	0,93	0,48	1,41
Bus	12,46	1	13,46
Vrachtwagen	12,46	0,61	13,07
Zware truck	21,36	0,61	21,97

Voor het schatten van de verkeersdichtheid in de grachtengordel zijn van de Dienst IVV (Mededeling P. Siderius, IVV Amsterdam) van de gemeente Amsterdam gegevens verkregen. Door deze gegevens te combineren met de zinkemissie per kilometer van de verschillende vervoersmiddelen is geschat hoeveel zink per jaar door het verkeer in het onderzoeksgebied wordt uitgestoten (Tabel 5). In totaal blijkt dit 222 kg zink te bedragen.

Dit zink dat als slijpsel van banden en remlagers op het straatoppervlak terecht komt zal met regen worden weggespoeld. Als gehanteerd wordt dat 70% van het van het straatoppervlak afspoelend regenwater via het riool verdwijnt en infiltratie

van regenwater in de bodem wordt genegeerd, blijft er maximaal 30% over dat in de gracht terecht komt, op jaarbasis is dit 66 kg zink.

Tabel 5. *Verkeersdichtheid Amsterdamse grachtengordel volgens opgave Dienst IVV en de daarmee berekende jaarlijkse zinkemissie.*

	Verkeersbewegingen		Zink emissie	
	km/24 uur	km/jaar*	mg Zn/km (zie tabel 4)	Kg Zn/jaar
Motoren	4000	1,1 x 10 ⁶	0,7	0,8
Personenauto's	380000	104,5 x 10 ⁶	1,41	147,3
Middelzwaar vrachtverkeer	12000	3,3 x 10 ⁶	13,07	43,1
Zwaar vrachtverkeer	5000	1,4 x 10 ⁶	21,97	30,8
Totaal		110,3 x 10 ⁶		222

*De aangegeven verkeersbewegingen gelden voor een werkdag. Zon- en feestdagen hebben een lagere verkeersdichtheid. In overleg met IVV is voor een redelijke schatting een jaar op 275 dagen gesteld.

2.1.4 Bladafval

Zink is een essentieel element voor planten en dieren. Hierdoor is er in het weefsel van gezonde organismen altijd een basishoeveelheid zink aanwezig. Indien dit niet het geval zou zijn zou het organisme sterven als gevolg van zinkdeficiëntie. Ook bladmateriaal bevat dus een bepaalde hoeveelheid zink. Omdat een loofboom gedurende de zomer een aanzienlijke biomassa in de vorm van bladeren produceert en deze in het najaar laat vallen vormen bomen een belangrijke schakel in het transport van zink. Om deze reden wordt bladmateriaal dan ook beschouwd als bron van zink op het bodemoppervlak en in oppervlaktewateren (Dokkum & Bijl, 1999).

De zinkgehalten in bladmateriaal kan sterk verschillen per plantensoort en bodemsoort. Zo zullen bladeren van bomen die groeien op een met zink verontreinigd bodem hogere zinkgehalten bevatten dan bomen van dezelfde soort op een zinkarme bodem. Bij de berekeningen voor onderhavige studie is uitgegaan van een zinkgehalte van 65 mg/kg bladmateriaal als zijnde de mediaan van de gegevens die door Dokkum & Bijl (1999) in de literatuur werden verzameld. In dezelfde studie wordt de hoeveelheid afvallend blad op basis van literatuurgegevens geschat op 450 gram per m² boomkroon per jaar.

Tijdens een bezoek aan de grachtengordel van Amsterdam in het najaar van 2004 werd geschat dat gemiddeld om de 10 meter een boom langs de gracht staat. De gemiddelde kroondiameter werd geschat op ca. 5 meter. Dit komt overeen met een kroonoppervlak van ca. 20 m² en zou op jaarbasis dus per boom 9 kg bladmateriaal opleveren.

De totale omtrek van de grachten binnen het onderzoeksgebied bedraagt 99.110 m (Kadaster Amsterdam, 2003) en biedt dus ruimte aan 9911 bomen. Gezamenlijk

zullen deze bomen op jaarbasis 89.199 kg bladmateriaal produceren, wat ca. 5,8 kg zink zal bevatten. Een deel hiervan zal al dan niet direct in de gracht terecht komen een ander deel zal op het wegdek vallen worden afgevoerd. Het is moeilijk te schatten hoe deze verhoudingen zullen liggen. Voor de verdere berekening is aangenomen dat niet meer dan 20% van het afgevallen blad direct in de gracht terecht komt. Van de hoeveelheid zink die zich in de overige 80% van de bladeren bevindt is aangenomen dat hiervan 70% wordt afgevoerd via het riool en 30% uiteindelijk toch nog in de gracht beland. Met het ruimen van bladeren is geen rekening gehouden.

De 20% (17.840 kg/jr) van het bladmateriaal dat direct in de gracht belandt bevat 1,2 kg zink. De hoeveelheid bladmateriaal dat op straat belandt (71.359 kg/jr) bevat 4,6 kg zink, waarvan uiteindelijk 30%, zijnde 1,4 kg alsnog in de gracht terecht komt. De totale hoeveelheid zink die uit bladmateriaal uiteindelijk in grachten terecht komt wordt hiermee geschat op 2,6 kg per jaar.

2.1.5 Bouwmetalen

Zink wordt als bouwmetaal ondermeer toegepast als dakbedekking, dakafwerking en voor hemelwaterafvoer. De emissies uit deze verschillende toepassingen worden in de volgende paragrafen beschreven.

2.1.5.1 Goten die afwateren op de gracht

Bij de hemelwaterafvoeren (HWA's) kan onderscheid gemaakt worden tussen lijstgoten die in principe direct op de gracht afwateren en de gewone goten die ook kunnen afwateren op het riool. Bij lozingen op de gracht is de HWA aan de voorkant van het pand in de regel zichtbaar.

Een aantal steekproefsgewijze tellingen tijdens een bezoek aan de Amsterdamse grachtengordel leverde de schatting op dat ca. 30% van de aan de grachten gelegen panden het hemelwater direct op de gracht loost. Voor de berekening is aangenomen dat van deze panden de helft is voorzien van lijstgoten en de andere helft van normale dakgoten.

De totale omtrek van de grachten binnen het onderzoeksgebied bedraagt 99.110 meter. Daarvan zal circa 80% (79.288 m) door gebouwen in beslag genomen worden, de overige 20% door dwarsgrachten, straten, doorgangen etc. Als 15% van de gebouwen is uitgerust met lijstgoten, dan levert dit een totale lengte van 11.893 m lijstgoot op.

Aangenomen is dat voor elke meter zinken lijstgoot een oppervlak kan worden gerekend van 0,5 m² zink (persoonlijke mededeling van M. Oostendorp, Wentzel BV, Amsterdam). Voor de panden binnen het onderzoeksgebied die het regenwater op de gracht lozen komt dit neer op 5947 m² zinken lijstgoot.

De afspoeling van zink uit (ongecoate) zinken dakgoten is in Amsterdam onderzocht aan een type dakgoot met erg veel horizontaal oppervlak, die veel lijkt

op de gebruikelijke lijstgoten. In die gevallen bedraagt de afspoeling $5,89 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jaar}^1$ (Tijssen, 2003). Op basis van dit getal kan worden berekend dat per jaar 35 kg zink uit de lijstgoten naar de grachten afspoelt.

Van de overige panden die het hemelwater direct op de gracht lozen, wordt het regenwater opgevangen en naar de gracht afgevoerd via twee aan weerszijden van het dak geplaatste goten. Uitgaande van een gemiddelde breedte van zes meter per pand, betreft dit 1982 panden (15% van het totaal). Indien een gemiddelde panddiepte van 9 meter wordt aangenomen, betekent dit 18 meter dakgoot per pand, in totaal 35.680 meter.

Dit zijn andere typen goot dan de eerder genoemde lijstgoten die vrijwel volledig uit horizontaal oppervlak bestaan. De aan weerszijden van de panden geplaatste goten (kilgoten, zakgoten) beschikken doorgaans over minder horizontaal oppervlak, waardoor de afspoeling in vergelijking met de lijstgoten lager zal zijn. Om een redelijke schatting te maken van de afspoeling is uitgegaan van gegevens voor een grote bakgoot (B44), die toch nog beschikt over een relatief groot horizontaal oppervlak. De afspoeling van een B44-goot per strekkende meter in stedelijke omgeving bedraagt 1,17 g per jaar (RIZA, 2003). Dit betekent dat per jaar 42 kg zink vanuit deze goten naar de grachten afspoelt.

In totaal zal dus per jaar $35+42 = 77$ kg zink vanuit de goten direct in de grachten terechtkomen.

2.1.5.2 Goten die afwateren naar het riool

Om de afspoeling uit zinken goten naar het riool te schatten zijn de volgende aannames gedaan:

- 1) Van de 15% van de panden voorzien van lijstgoten (zie 2.1.5.1) wordt het hemelwater dat wordt opgevangen in de goot aan de achterzijde van het pand op het riool geloosd. Omdat de lengte van de lijstgoot aan de voorzijde en aan de achterzijde van het pand gelijk zijn, is de hoeveelheid zink die vanuit de lijstgoten naar het riool spoelt gelijk aan de hoeveelheid die via de voorzijde direct op de grachten geloosd wordt (35 kg/jr).
- 2) De panden die het hemelwater niet direct op de gracht lozen zijn allen voorzien van 'normale', dwars op de gracht geplaatste goten die aan weerszijden van het dak zijn aangebracht. Goten van belendende panden zijn gecombineerd. De totale gootlengte is geschat op 3 maal de breedte van het pand.

Zoals boven gesteld is de totale lengte van de beschouwde grachten 99.110 m waarvan circa 80% door panden is bezet. In totaal dus 79.288 m panden, waarvan 30% het hemelwater (deels) direct op de gracht loost. Er blijft dus 55.500 m pand

¹ Deze afspoeling is veel hoger dan bij een 'normale' goot omdat een lijstgoot relatief ten opzichte van het totale zinkoppervlak een veel hoger percentage horizontaal blootgesteld oppervlak heeft (zie RIZA, 2003)

over waarvan al het hemelwater via het rioolstelsel wordt afgevoerd. Uitgaande van een gootlengte van 3 maal de breedte van het pand betekent dit 166.500 meter goot. Uitgaande van het afspoelingsgetal van de eerder genoemde B44-goot (1,17 g/m.jr) komt dit neer op 195 kg per jaar.

2.1.5.3 Zinkafspoeling van andere toepassingen dan goten

Gewalst zink wordt niet alleen toegepast in goten maar ook voor allerlei andere afwerkingen in de bouw, bijvoorbeeld gevels, daken, dakkapellen en afdekkappen. Voor het beschouwde gebied zijn er geen gegevens beschikbaar over de kwantiteit van deze toepassingen. Marktinformatie geeft aan dat van het momenteel verkochte gewalst zink 72% voor de productie van goten wordt gebruikt en circa 28% voor andere toepassingen. Deze verhouding is gebruikt bij het schatten van de zinkafspoeling van andere oppervlakte dan goten. Voor de snelheid van afspoeling is de waarde van 2,5 g zink/m².jaar gehanteerd (RIZA, 2003), omdat het vrijwel uitsluitend hellende of verticale oppervlakken betreft.

Zoals in het voorgaande vastgesteld is er circa 5947 m² zink verwerkt in de lijstgoten die rechtstreeks op de grachten lozen. Daarnaast is er 35680 strekkende meter goot als kilgoot tussen de panden aanwezig. Uitgaande van een B44 goot (zink uitgerold 44 cm breed) is dit 15700 m² zink. Totaal dus 21647 m². Uitgaande van de bovengenoemde verhouding van 72% goten en 28% overige toepassingen, kan worden geschat dat 8418 m² 'niet goten zink' rechtstreeks naar de gracht afspoelt. Met een afspoelsnelheid van 2,5 g/m².jr geeft dit een zinklast rechtstreeks naar de gracht van 21 kg per jaar.

De extra zink-afspoeling op het riool kan op overeenkomstige wijze worden berekend: Lijstgoten 5947 m², andere goten 166.500 strekkende meter = 73260 m² totaal 'zinkgoot'. Uitgaande van de verhouding 72% 'goten zink':28% 'niet-goten zink', kan de hoeveelheid 'niet-goten zink' geschat worden op 28490 m². Bij een afspoeling van 2,5 g/m².jr spoelt hiervan per jaar 71 kg zink af naar het riool.

2.1.5.4 Zinkafspoeling van verzinkt staal

Verzinkt staal wordt hoofdzakelijk toegepast voor constructies, tuinbouwkassen, vangrails, lantaarnpalen en transport. In de stedelijke bouw wordt verzinkt staal wel gebruikt voor inwendige constructies, maar zelden op een wijze dat het is blootgesteld aan atmosferische afspoeling. Toepassing in straatmeubilair (als lantaarnpalen, verkeersbordpalen etc.) is ten opzichte van de toepassing in goten zo klein (minder dan 0,5%, zie Roovaart, 2000) dat die in deze analyse kan worden verwaarloosd.

2.1.6 Bijdragen via de overstorten van rioolwater

Goten die afwateren naar het riool dragen in de regel ook indirect bij aan de zinklast van het oppervlaktewater. Dat gebeurt via de emissie van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) en 'direct' via overstorten. Op de

Amsterdamse grachtengordel lozen geen RWZI's hun effluent. Wel bevinden zich er een aantal overstorten. Hiervan zijn echter geen gegevens over debieten en zinkconcentraties beschikbaar. Omdat via overstorten afspoelend zink direct in het grachtenwater terechtkomt is het toch van belang hiervan een schatting te maken. Het zink in het overstortend rioolwater is overigens niet uitsluitend afkomstig van bouwzink.

Bij de volgende schatting is ervan uitgegaan dat de situatie in Amsterdam gelijk is aan het gemiddelde van Nederland. Volgens het RIZA komt er jaarlijks (1999) 101 ton afgespoeld zink in het Nederlandse riool terecht (Roovaart, 2000). Ervan uitgaande dat per jaar 472 kg zink naar RWZI's wordt afgevoerd (gegevens van 1994: Baas *et al.*, 1996), betekent dit dat ca. 20% van al het zink dat in het riool terecht komt, afkomstig is van bouwmetalen.

Volgens Roovaart (2000) komt ca. 10% van het van bouwtoepassingen afgespoeld zink in het rioolwater, via overstorten, rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht. Indien we aannemen dat dit getal ook voor Amsterdam geldt dan kan uit de totale rioolbelasting de last naar het grachtenwater via overstorten worden berekend. Volgens paragraaf 2.1.5.2 is de RWZI-zinklast afkomstig van de afspoeling van goten 195 kg/jaar en de afspoeling van andere gewalst zinktoepassingen 71 kg/jaar (paragraaf 2.1.5.3). Van de in totaal 266 kg afspoelzink komt 10% via de overstorten rechtstreeks in de gracht terecht, dit is dus 27 kg op jaarbasis.

De resterende 239 kg zink vormt, volgens het bovenstaande, 20% van de totale zinklast van het rioolwater. Het overige zink (80% / 1064 kg) is afkomstig uit voeding, cosmetica, wasmiddelen, verkeer, etc. Hiervan zou bij een overstort ook 10% (106 kg) direct in het grachtenwater terecht komen. Omdat overstorten in werking treden bij heftige regenval, is het waarschijnlijk dat deze verhoudingen in overstortwater anders liggen. Voor de berekeningen is aangenomen dat het aandeel van zink uit andere bronnen dan bouwmetalen in overstortwater de helft lager is dan in rioolwater. De zinklast die via de overstorten de grachten bereikt en die niet afkomstig is van afspoeling wordt hierdoor geschat op 53 kg/jaar.

2.1.7 Uitspoeling uit de bodem

Het is gebleken dat de uitspoeling uit de bodem in Nederland de belangrijkste bron van zink in het oppervlaktewater vormt. Voor Amsterdam is het echter moeilijk precies vast te stellen wat de bijdrage van de kwel aan zink bedraagt. Een ruwe schatting kan echter worden gebaseerd op het Alterra-onderzoek (Bonten *et al.*, 2004): De uitspoeling van zink naar het oppervlaktewater in geheel Nederland bedraagt 1187 ton. Het daaraan gekoppelde landoppervlak is $2,8 \cdot 10^6$ ha. Voor het oppervlakte beschouwd in deze studie (500 ha) levert dit een uitspoeling van circa 212 kg op. De grootte van de uitspoeling is sterk afhankelijk van de grondsoort en hoeveelheid uitgestroomd (kwel) water. Aangezien deze grootheden

niet bekend zijn en de hoeveelheid uitgespoeld zink sterk varieert per bodemtype nemen we voor deze studie de conservatieve waarde van 100 kg/jaar aan.

2.2 Relatief aandeel van de verschillende bronnen

Het aandeel van de verschillende bronnen van zink in de grachten van het onderzoeksgebied is weergegeven in Tabel 6.

De belangrijkste bronnen blijken te worden gevormd door het binnenstromende water uit de Amstel en het IJmeer, en door atmosferische depositie, gezamenlijk zijn deze bronnen verantwoordelijk voor ca. 94% van het aangevoerde zink. Via de Amstel wordt verreweg de grootste hoeveelheid zink aangevoerd. Het aandeel van oppervlaktewater vanuit het IJmeer is beduidend lager, hoewel de zinkgehalten in het IJmeer iets hoger zijn dan in de Amstel wordt het verschil voornamelijk door het veel lagere verversingsdebiet vanuit het IJmeer veroorzaakt.

Het relatieve aandeel van zink uit bouw materiaal ligt rond 2,0%. Het aandeel van het verkeer en 'huishoudelijk zink' zit rond 1% terwijl de invloed van afgevalen blad verwaarloosbaar klein wordt geacht. Kwel komt uit op 2%, maar dit kan samenhangen met de lage schatting (50% van het landelijk gemiddelde) en in werkelijkheid aanzienlijk hoger zijn.

Tabel 6 *Overzicht van de emissieschattingen (absoluut en relatief) uit de verschillende zinkbronnen naar het grachtenwater binnen het onderzoeksgebied.*

Bron	kg Zn/jaar	Relatief
Oppervlaktewater via Amstel	4970	79%
Oppervlaktewater via IJmeer	505	8%
Atmosferische depositie	434	7%
Verkeer	66	1,1%
Bladafval	3	0,04%
Kwel	100	1,6%
Bouwzink, direct	98	1,6%
Bouwzink, via overstort	27	0,4%
Ander zink via overstort	54	0,9%
Totalen	6256	100%

Het totale volume water dat per jaar door de grachten stroomt wordt geschat op 315.360.000 m³ Amstel water en 40.560.000 m³ IJmeerwater, in totaal dus 355.920.000 m³ water. Dit komt neer op 150 totale verversingen per jaar. De totale zinklast die de stad aan het aangevoerde water toevoegt (780 kg) zou bij dit volume water een verhoging van het zinkgehalte van 2,2 µg/l kunnen veroorzaken, waarvan 0,4 µg/l veroorzaakt wordt door het in de stad gebruikte bouwzink.

2.3 Onzekerheden in de schattingen

Bij het maken van bovenstaande schattingen is steeds geprobeerd deze zo realistisch mogelijk uit te voeren. Uiteraard zijn er een aantal onzekerheden. De belangrijkste betreffen:

- Verkeer:
Er is gebruik gemaakt van emissiecijfers uit een Duitse studie. Er was geen aanleiding om te twijfelen aan de juistheid van deze studie en zijn relevantie voor Amsterdam.
- Goten die afwateren op de gracht:
Aangenomen werd dat alle goten die met een HWA zichtbaar aan de voorzijde van het gebouw direct afwateren naar de gracht. Het is echter bekend dat een deel van deze HWA's inmiddels op het riool zijn aangesloten. Hoe groot dit deel is, is ons onbekend. Omdat de directe lozing op de gracht de grootste bijdrage van de bouwmetalen betreft, kan de gebruikte aanname, afhankelijk van de mate van aansluiting van de HWA's op het riool, een vrij grote overschatting van de werkelijk belasting door bouwzink veroorzaken.
- Zinkafspoeling van andere toepassingen dan goten:
Hier werden de huidige marktcijfers gehanteerd om het totaal geïnstalleerd oppervlak te berekenen. Omdat de laatste decennia meer zinken daken en gevels zijn toegepast dan in het verleden leidt dit mogelijk tot een overschatting van de in deze toepassingen uitstaande hoeveelheid zink.
- Uitspoeling uit de bodem:
Hiervan waren geen gegevens beschikbaar. Door de helft van het landelijk gemiddelde uitspoelingscijfer te nemen is de waarde gehanteerd voor de uitspoeling uit de bodem mogelijk aan de lage kant.
- Overstorten:
Er zijn ons geen betrouwbare gegevens bekend van de hoeveelheid 'onverdund' rioolwater ten opzichte van het verdunnende regenwater. In deze studie is aangenomen dat het rioolwater voor de overstort 1:1 verdund wordt door regenwater. In gevallen waar de hoeveelheid onverdund rioolwater in overstorten groter is, zou dit leiden tot een overschatting van de bijdrage van bouwzink en een onderschatting van de bijdrage uit huishoudelijk afvalwater, en visa versa.

Bovengenoemde onzekerheden leiden tot de conclusie dat de schattingen, indien niet geheel juist, mogelijk in het 'nadeel' van de bouwmetalen zijn uitgevoerd.

3. Verliesposten

3.1 Individuele verliesposten

3.1.1 Oppervlaktewater

Gesteld kan worden dat de hoeveelheid oppervlaktewater die het gebied binnenkomt gelijk is aan de hoeveelheid die het gebied verlaat. Reeksen meetgegevens over het zinkgehalte van het oppervlaktewater dat het onderzoeksgebied verlaat zijn niet voorhanden. In 2002 heeft TNO-MEP metingen uitgevoerd naar de zinkgehalten in water uit de Amstel, nabij Duivendrecht waar het de stad binnenkomt, en rond de Prins Hendrikkade waar het water de stad verlaat (zie deel I van dit rapport).

De overeenkomst tussen de metingen in beide jaren is dat het water dat de stad verlaat iets lagere zinkgehalten (4 µg/l lager) bevat dan het water dat de stad binnenkomt. Dit zou erop wijzen dat uit elke aangevoerde liter oppervlaktewater gemiddeld 4 µg zink in de stad(grachten) achterblijft. Voor het totale debiet van Amstel en IJmeer samen (355.920.000 m³/jr) komt dit neer op 1424 kg zink op jaarbasis. De rest van het met het oppervlaktewater aangevoerde zink (4051 kg/jr) verdwijnt weer met het oppervlaktewater uit de stad. Waarbij het oppervlaktewater als verliespost kan worden beschouwd.

3.1.2 Sediment

Om de grachten op diepte te houden zijn regelmatig onderhoudsbaggerwerkzaamheden noodzakelijk. In 2004 werd hierbij uit het onderzochte gebied 24.317 m³ bagger verwijderd (opgave W. Schouwstra, DWR). Het gewicht van een kubieke meter bagger zal ca. 1250 kg bedragen, zodat in 2004 30.396.250 kg bagger uit de grachten is afgevoerd.

Op basis van meetgegevens (n=150) van DWR van het zinkgehalte in bagger uit de grachten van Amsterdam tussen 2000 en 2004 blijkt dat de geometrisch gemiddelde zinkconcentratie 621 mg/kg bedraagt op basis van droge stof. Bij een gemiddeld droge stofgehalte van 38,9% komt dit neer op 241 mg zink per kg natte bagger.

Door combinatie van bovenstaande gegevens kan worden geschat dat in 2004 met de totale hoeveelheid bagger 7.325,5 kg zink uit de grachten werd verwijderd. Het baggeren van de grachten is echter geen continu proces en tijdens het baggeren wordt tevens slib verwijderd dat in voorgaande jaren sedimenteerde. Per jaar wordt in Amsterdam rond de 50.000 kuub bagger verwijderd, welk aandeel hiervan in het verleden uit het onderzoeksgebied kwam is moeilijk aan te geven. Indien de hoeveelheid in 2004 verwijderde bagger wordt gezien in het licht van het totale

water(bodem)oppervlak binnen het onderzoeksgebied dan is er over het hele gebied een laag van 2,5 cm sediment afgevoerd.

4. Zinkbalans

Bij het opstellen van de zinkbalans voor het onderzoeksgebied zijn de bronnen en de verliesposten tegen elkaar afgewogen (Tabel 7). In deze balans speelt het oppervlaktewater een grote rol als zowel bron en verliespost van zink. Feitelijk komt het erop neer dat er met de oppervlaktewater continue een hoeveelheid zink door het onderzoeksgebied stroomt, waarvan een beperkt deel in de grachten achterblijft.

Met het afvoeren van bagger uit de grachten wordt het meeste zink afgevoerd. De totale hoeveelheid zink die in 2004 met de bagger werd verwijderd was iets (17%) groter dan de totale hoeveelheid die volgens de schattingen in een jaar wordt aangevoerd. Doordat echter ook een groot deel van het aangevoerde zink weer met het oppervlaktewater wordt afgevoerd ontstaat er het beeld dat er per jaar veel meer zink uit het gebied wordt verwijderd dan wordt aangeleverd.

Omdat het verwijderen van bagger geen continue proces is, kan de zinkbalans eigenlijk alleen over een periode van vele jaren worden opgesteld. Doordat echter niet duidelijk is welke hoeveelheden bagger er in het verleden uit het onderzoeksgebied zijn verwijderd is het niet mogelijk de zinkbalans op dit moment sluitend te maken. Verder wordt met baggeren ook sediment uit het (verre?) verleden opgebaggerd. Over het algemeen heeft oud sediment een aanzienlijk hoger zinkgehalte dan recent gevormd sediment. Het opstellen van de balans wordt nog verder bemoeilijkt door onzekerheden in de schatting van het aandeel van het zink dat uit het oppervlaktewater bezinkt in de grachten.

Op basis van deze berekening moet worden geconcludeerd dat er veel meer zink uit de grachtengordel verdwijnt dan er wordt aangevoerd. Mogelijk hangt dit samen met de afvoer van oud, en sterker verontreinigd, slib. Dit kan echter pas met zekerheid worden vastgesteld aan de hand van historische gegevens over baggerafvoer in combinatie met zinkgehalte metingen aan recent gevormd slib (zinkgehalte van zwevend stof).

Tabel 7 Zinkbalans van het onderzochte gebied uitgedrukt in hoeveelheden totaal zink in kg per jaar.

Bronnen	kg Zn/jaar
Oppervlaktewater via Amstel	4970
Oppervlaktewater via IJmeer	505
Atmosferische depositie	434
Verkeer	67
Bladafval	3
Kwel	100
Bouwzink, direct	98
Bouwzink, via overstort	27
Ander zink via overstort	54
Totaal bronnen	6258
Verliesposten	
Oppervlaktewater	4051
Afgevoerd slib	7326
Totaal verliesposten	11377
Verschil	-5118

5. Consequenties voor andere stedelijke locaties

De situatie, zoals die in Amsterdam bestaat, is niet zondermeer te vertalen naar andere stedelijke locaties. Zo is bijvoorbeeld niet duidelijk of een verversingsregime van 150 maal per jaar zoals dat in het Amsterdamse grachtengebied plaatsvindt representatief is voor andere steden. Toch zijn er wel algemene gevolgtrekkingen te maken uit deze studie over Amsterdam, al zullen die per plaats nader moeten worden bekeken om aan de hand van de lokale omstandigheden vast te stellen wat de relatieve bijdrage van bouwzink precies is.

5.1 Stedelijke grachtenstelsels

Veel Nederlandse steden bezitten grote of kleinere grachtenstelsels die in meer of mindere mate gevoed en doorspoeld worden door een lokale stroom. We noemen als voorbeeld: Alkmaar (Noordhollands kanaal), Amersfoort (Eem), Breda (Mark), Delft (Schie), Dordrecht (Oude Maas), Groningen (Hoendiep, Eemskanaal), Gouda (Gouwe), Haarlem en Heemstede (Spaarne), 's-Hertogenbosch (Dieze), Leeuwarden (Dokkumer Ee), Leiden (Rijn), Leidschendam (Vliet), Middelburg (Kanaal door Walcheren), Purmerend (Noodhollands Kanaal), Rotterdam (Delftse Schie), Schiedam (Schiedamse Schie), Utrecht (Vecht), Woerden (Oude Rijn), Zaandam (Zaan), Zutphen (IJssel) en Zwolle (Zwarte Water).

Voor die grachtenstelsels die worden doorstroomt met water afkomstig uit landelijk gebied, geldt dat dit water door de uitspoeling van de landelijke bodem relatief veel zink zal bevatten ten opzichte van de bijdrage afkomstig uit stedelijk gebied. In het algemeen kan worden verwacht dat in deze situaties de bijdrage van bouwzink aan de totale zinklast van het grachtenstelsel gering zal zijn, al kan dit van plaats tot plaats variëren. Hierbij speelt met name een rol in welke mate HWA's in de stad zijn aangesloten op het riool of direct lozen op het afvalwater.

5.2 Steden zonder grachtenstelsel met gemengd riool en stagnerend stedelijk water

Stedelijk water dat niet door een relatief groot water wordt doorstroomd, bevat geen grote hoeveelheden zink afkomstig uit uitspoeling van de landelijke bodem. Er zal echter nog steeds kwel optreden in hoeveelheden die van plaats tot plaats wisselen. Zoals hierboven aangegeven veroorzaakt kwel in Nederland gemiddeld zo'n 400 gram zink per hectare aan belasting van het oppervlaktewater. Daarnaast leveren atmosferische depositie en het verkeer nog significante bijdragen aan de totale zinkbelasting van het gebied. Verwacht mag worden dat emissies afkomstig van een RWZI in deze omgeving afwezig zijn, omdat RWZI's op stromende wateren lozen. De aanwezigheid van overstorten kan echter niet geheel

worden uitgesloten, hoewel er naar gestreefd wordt deze te laten plaatsvinden op stromende wateren of via een voorzuivering zoals een wadi. Van wadi's is bekend (Oosterhuis & Korenromp, 2002) dat deze zink binden in de bovenste centimeters van de wadi-bodem en dat de kans op doorslag naar het grondwater gering is. Indien er geen directe lozingen van afgespoeld zink op oppervlaktewater plaatsvinden (zie daarvoor 5.3) zal de belasting van het stedelijk water door bouwzink in deze omgeving minimaal zijn en slechts afkomstig uit riooloverstorten. De zinkbelasting van dergelijk stedelijk oppervlaktewater wordt dus met name bepaald door kwel, atmosferische depositie en eventueel verkeer.

Op basis van de Amsterdamse cijfers kan worden berekend dat de relatieve bijdrage van bouwzink in deze situatie ca. 5% zal bedragen (Tabel 8). Hierbij is uitgegaan van de Amsterdamse situatie waarbij het grachtenwater niet wordt ververst en alle HWA's op het riool zijn aangesloten. Uiteraard dient per locatie te worden vastgesteld hoe ter plaatse de zinklasten liggen om een precies beeld te verkrijgen.

Tabel 8. *Relatieve bijdrage van bouwzink voor stagnant stedelijk oppervlaktewater in afwezigheid van een groot doorstromend water en bij een gemengd rioolstelsel op basis van de cijfers voor Amsterdam*

Bron	Kg Zn/jaar	relatief
Atmosferische depositie	434	55%
Verkeer	66	8%
Bladval	3	0%
Uitspoeling bodem*	200	25%
Overstort: Afspoeling bouwmetaal**	36	5%
Overstort: Overig zink	54	7%
Totaal	792	100%

*De voor Nederland gemiddelde waarde van 400 g/ha.

**Zie Tabel 6: 27 + 10% van 98 = 36 kg zink.

5.3 Directe lozingen van bouwzink en lozingen van gescheiden rioolstelsels, op stagnant water

In het geval dat bouwzink direct, of via een gescheiden rioolstelsel, wordt geloosd op stedelijk water zal per locatie moeten worden bezien in hoeverre dit een milieuprobleem oplevert.

Ter illustratie van het potentieel van de belasting door bouwzink is de Amsterdamse situatie zonder de grote aanvoer van de Amstel en het IJmeer beschouwd (Tabel 9). Hierbij is voor kwel het Nederlands gemiddelde gehanteerd, zoals dat volgt uit Bonten *et al.*, (2004). Voor atmosferische depositie en verkeer zijn de waarden uit Amsterdam aangehouden. Ook voor bouwzink is gerekend met de cijfers uit Amsterdam, waarbij wordt opgemerkt dat in de huidige stedelijke

wijken in de regel de bebouwingsdichtheid lager is dan in de Amsterdamse grachtengordel.

Tabel 9 Schatting van de mogelijke bijdrage van bouwzink aan de zinkbelasting van stagnant stedelijk oppervlaktewater bij gescheiden rioolstelsels

Bron	kg Zn/jaar	Relatief
Atmosferische depositie	434	41%
Verkeer	66	6%
Bladafval	3	0%
Kwel	200	19%
Bouwzink, totaal*	357	34%
Totalen	1060	100%

* De afspoeling van bouwzink is als volgt berekend: 77 kg rechtstreekse afspoeling goten naar de gracht + 195 kg afspoeling goten naar riool + extra zink 21 kg naar gracht en 64 kg naar riool.

Onder de geschetste omstandigheden komt de zinklast van stedelijk oppervlaktewater, waarop al het aanwezige bouwzink wordt geloosd, uit op zo'n 34% van de totale belasting. Het betreft hier uiteraard een zeer ruwe schatting die echter wel de belangrijkste factoren weergeeft.

Deze schatting gaat uit van totaal stagnant oppervlaktewater, waarbij het van verhard oppervlak afspoelend hemelwater volledig ongezuiverd wordt geloosd op stagnant water. De schatting is hierdoor waarschijnlijk een echte 'worst case' voor wat betreft het de relatieve bijdrage van bouwzink aan de belasting van het oppervlaktewater.

Voor elke situatie zal dan ook een specifieke analyse nodig zijn om de werkelijke bijdrage van bouwzink aan de belasting en de kwaliteit van het lokale oppervlaktewater met enige precisie te kunnen schatten.

5.4 Directe lozingen van bouwzink en lozingen van gescheiden rioolstelsels, op stromend water

In normaal beleid is het niet ongebruikelijk dat bij gescheiden stelsels het hemelwater wordt geloosd op stromend water. Hoewel dit steeds vaker gebeurt via een voorzuivering (wadi's, bodempassage, helofytenfilter, etc.) gaan we er in deze schatting vanuit dat de lozing geheel ongezuiverd plaats vindt.

Daarvoor nemen we als model opnieuw de Amsterdamse situatie, waarbij al het afgespoelde bouwzink in het grachtensysteem terecht komt.

Tabel 10 *Directe lozing van alle afspoeling van bouwzink in stromend water (Amsterdam).*

Bron	kg Zn/jaar	Relatief
Oppervlaktewater via Amstel	4970	77%
Oppervlaktewater via IJmeer	505	8%
Atmosferische depositie	434	7%
Verkeer	66	1%
Bladafval	3	0%
Kwel	100	2%
Bouwzink, direct	357	6%
Totalen	6436	100%

De berekeningen tonen aan dat indien in de Amsterdamse binnenstad er zou worden overgegaan op een volledig gescheiden rioolstelsel, de bijdrage van het bouwzink ca. 6% zou bedragen van de totale zinklast van de grachten. De concentratieverhoging van het grachtenwater door het bouwzink zou, onder die omstandigheden, 1,0 µg Zn/l bedragen. In werkelijkheid zou de concentratieverhoging echter veel minder zijn, indien het grootste deel van deze zinkbelasting in het sediment terecht zou komen. Echter, voor de zinkinhoud van het onder deze omstandigheden gevormd sediment geldt dat daarvan maximaal 6% aan de afspoeling van bouwzink kan worden toegeschreven.

Voor andere situaties dan de Amsterdamse dient uiteraard een toepasselijke analyse te worden uitgevoerd, tenzij blijkt dat de karakteristieken van zo'n situatie niet erg afwijken van die van de Amsterdamse grachtengordel.

Discussie & Conclusies

Chemische analyses van TNO zowel als van DWR laten zien dat de concentratie van de bouwmetalen zink, koper en lood niet toeneemt tussen het punt waar de Amstel de stad binnen stroomt en het punt waar het grachtenwater de stad weer verlaat. Er treedt dus geen oplading van bouwmetaal op. Voor zink geldt dat in Amsterdam zelfs een lichte afname in de totale concentratie na stadspassage is waargenomen.

De bronnenanalyse voor zink toont aan dat er in de Amsterdamse grachten op jaarbasis zo'n 6300 kg zink binnen komt. Circa 85% van deze hoeveelheid wordt aangevoerd met het oppervlaktewater uit de Amstel en het IJmeer. De zinkconcentraties in het aangevoerde oppervlaktewater zijn niet opvallend hoog, maar de grote invloed van het oppervlaktewater op de zinkbalans wordt vooral veroorzaakt door het grote volume dat het onderzoeksgebied doorspoelt.

De bijdrage van atmosferische depositie wordt geschat op 7%, terwijl het aandeel van zink uit bouwmaterialen ongeveer 3% is. De invloed van verkeer en afgefallen bladmateriaal als zinkbron wordt in het onderzochte gebied klein geacht.

De berekende hoeveelheid zink die uit alle bronnen in de grachten terecht komt, zou maximaal tot verhoging van 2,2 µg/l van zinkconcentratie in het grachtenwater kunnen leiden. Bouwzink alleen zou een verhoging van de zinkconcentratie in de grachten van 0,4 µg/l kunnen veroorzaken.

Het afvoeren van bagger uit de grachten blijkt de belangrijkste verliespost voor het zink te vormen.

Teneinde een schatting te maken van de ordegrootte van de bijdragen van bouwzink aan de belasting van het stedelijk oppervlaktewater elders, is de Amsterdamse situatie uitgewerkt voor vier gevallen:

1. Voor stedelijke grachtenstelsels met dezelfde karakteristiek als Amsterdam geldt dat de relatieve bijdrage van afspoelend bouwzink laag zal zijn omdat deze sterk wordt beïnvloed door, een grote aanvoer van uit de bodem uitgespoeld zink;
2. Steden met gemengd riool en stagnant stedelijk water zullen in de regel een lage belasting door bouwzink hebben omdat alle zink via het riool wordt afgevoerd. In het geval dat er overstorten op stedelijk oppervlaktewater aanwezig zijn zal er toch enige belasting door afspoelend bouwzink plaats vinden. Het lijkt echter dat de atmosferische depositie en de uitspoeling uit de bodem hier dominant zijn. De relatieve bijdrage van bouwzink blijft beperkt tot enkele procenten;

3. Steden met een gescheiden rioolstelsel dat loost op stagnant oppervlaktewater krijgen, indien geen voorzuivering wordt toegepast, al het bouwzink in het oppervlaktewater, zonder dat door stroming andere aanvoer van zink aanwezig is. Dit is een ‘*worst-case*’ situatie omdat onder die omstandigheden steeds vaker een voorzuivering gebruikelijk is. Niettemin, tonen de berekeningen aan dat onder deze condities de relatieve bijdrage van bouwzink aan de belasting van het stagnant stedelijk oppervlaktewater kan oplopen tot boven de 30%.
4. Steden met een gescheiden rioolstelsel dat loost op stromend water lijken mogelijk weer op de Amsterdamse situatie met de veronderstelling dat alle daar geïnstalleerd bouwzink rechtstreeks afwatert op de gracht. Onder die omstandigheden blijkt de relatieve zinklast rond de 6% uit te komen. Hierbij is uitgegaan van de Amsterdamse situatie waarin het grachtenwater 150 maal per jaar wordt verversd. Uiteraard heeft deze mate van verversing een sterke invloed op het aandeel van bouwzink

Conclusie:

De belasting van het oppervlaktewater door bouwzink is in de meeste gevallen relatief klein ten opzichte van de belasting door andere bronnen. Zij blijft in vrijwel alle gevallen belangrijk onder de 10%, meestal onder de 5%.

Een uitzondering wordt gevormd door de situatie waarin een gescheiden rioolstelsel loost op stagnant stedelijk water. In dat geval kan de relatieve bijdrage van bouwzink oplopen tot boven de 30% van het totaal van alle bronnen. Of dit milieuproblemen oproept is afhankelijk van de lokale immissie-omstandigheden en de (biologisch beschikbare) concentraties die in het ontvangende water worden bereikt. In dit geval is een nadere analyse nodig.

Referenties

Baas K., C. van Bruggen & R. Huwaë (1996): Verwijdering van zware metalen in rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Kwartber Milieu (CBS) 96/4, pag 13-18.

Bonten L.T.C., P.F.A.M. Romkens & G.B.M. Heuvelink (2004): Uitspoeling van zware metalen in landelijk gebied. Modellerings van uitspoeling op regionale schaal: modelaanpak, resultaten modelberekening en modevaluatie. Alterra rapport 1044. Alterra, Wageningen.

Dokkum H.P. van & M. Bijl (1999): Schatting van de emissie van zink uit bladeren naar het oppervlaktewater en naar rioolstelsels in Nederland. TNO-rapport TNO-MEP-R 99/443.

DWR (2003): 'Richtlijnen voor het lozen van regen-, grond- en leidingwater', Beleidsnota DWR-Sector waterbeheer 14-05-03.

DWR (2004): Grachtendieptekaart, Dienst Waterbeheer en Riolerings Amsterdam.

Gijlswijk R.N. van & R.H.J. Korenromp (2003): Metal fluxes from leaching of sandy soils in agricultural areas in The Netherlands. TNO-MEP R 2003/448.

Gouman E. (2004): Reduction of zinc emissions from buildings; the policy of Amsterdam. Water Science and Technology, 49(3), 189-196.

Hillenbrand T., D. Toussaint, E. Bohm, S. Fuchs, U. Scherer, A. Rudolphio, M. Hoffmann (2004): Eintrage von Kupfer, Zink und Blei in Gewasser und Boden-Analyse de Emissionspfade und moglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, Germany.

Kadaster Amsterdam (2003): TOP10Vector (bestand van topografische dienst).

Kramer K.J.M., R.G. Jak, B. van Hattum & R.N. Hooftman (2001): Koper in de Nederlandse oppervlaktewateren. Toxiciteit in relatie tot organisch materiaal. STOWA rapport 2001/06

Lambrechts A.C.W. & S.P. de Jong (1996): Leidraad aan- en afkoppelen verharde oppervlakken. Tauw Civiel en Bouw bv, RAP\950689

Oosterhuis M. & R.H.J. Korenromp (2002): Vervuiling van infiltratievoorzieningen. TNO-rapport R 2002/618.

RIZA (2000): Gebiedsgericht emissiebeleid: uitwerking voor bouwmetalen. RIZA rapport 2000.054

RIZA (2003): Emissies van bouwmetalen. RIZA-rapport 2003.027

Roovaart, J.van den (2000): Notitie zinkemissies t.b.v. MEWAT. RIZA 25 mei 2000

Tijssen R.J. (2003): Zinkemissie uit zinken dakgoten, een praktijkonderzoek in Amsterdam Noord. Dienst Waterbeheer en Riolering, juni 2003, Amsterdam.

Tilborg W.J.M. van (2000): Seasonality in Dutch surface water zinc concentrations. VTBC report no. 0006.

Tilborg W.J.M. van (2001): Emissies van bouwmetalen in Nederland in perspectief, VTBC-rapport 0103.

Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

VTBC
W.J.M. van Tilborg
Beekhuizenseweg 46
6881 AL Velp

Namen en functies van de projectmedewerkers:

E.M. Foekema	Projectleider
C.C. Karman	Onderzoeker

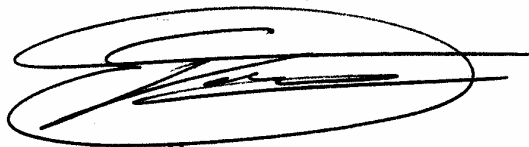
Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

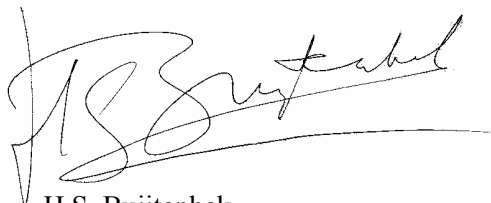
-

Ondertekening:



E.M. Foekema
Projectleider
5 juli 2005

Goedgekeurd door:



H.S. Buijtenhek
Teamleider a.i.
5 juli 2005