

TNO-rapport
TNO-MEP – R 99/443

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Schatting van de emissie van zink uit bladeren naar het oppervlaktewater en naar rioolstelsels in Nederland

Datum
1 december 1999

Auteur(s)
H.P. van Dokkum
M. Bijl

Projectnummer
30396

Trefwoorden

Bestemd voor
RWS-RIZA
Dhr. R. Teunissen
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, 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 onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 1999 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Samenvatting

In 1995 bedroeg de netto emissie van zink naar het Nederlandse oppervlaktewater ca. 458 ton/jaar. In discussies rondom de bronnen en emissies van zink wordt vaak gesproken over de rol van bladeren. Omdat zink een essentieel element is, bevatten boombladeren een bepaalde hoeveelheid zink. Als bladeren in het oppervlaktewater of in rioolstelsels terecht komen, dragen ze bij aan de zinkbelasting van het oppervlaktewater. Het RIZA heeft TNO-MEP de opdracht verleend om een verkennende schatting van deze bijdrage te maken op basis van een ‘quick-scan’ van beschikbare literatuur.

De eerste schatting betrof de directe belasting van het oppervlaktewater met zink uit gevallen bladeren. Het mediane zinkgehalte van boombladeren is ca. 65 mg/kg droge stof (DS), en het gemiddelde ca. 222 mg/kg DS. Voor enkele watertypen (bovenloop van beken, meren, rivier) is informatie over de belasting met organisch materiaal gevonden. Op basis hiervan, en op basis van een schatting van het totale oppervlak van verschillende watertypen in Nederland, is de totale zinkbelasting van het oppervlaktewater geschat op 3,3 ton/jaar (uitgaande van het mediane zinkgehalte) of 11 ton/jaar (uitgaande van het gemiddelde zinkgehalte). De onzekerheid van deze getallen is niet gekwantificeerd.

De belasting van het rioolstelsel met zink uit bladeren bleek moeilijker te schatten, omdat minder kwantitatieve informatie beschikbaar is. Er bleken grove aannames nodig te zijn over de fractie groen en groenvoorziening in het stedelijk gebied, en de fractie van de gevallen bladeren die verwijderd wordt. Hiervoor zijn drie “reken scenario’s” doorgerekend: een laag, een middel en een hoog scenario. Voor bedrijfsterreinen is minder bekend dan voor woongebieden; er is arbitrair gesteld dat de belasting van bedrijfsterreinen (per oppervlakte-eenheid) ongeveer 50% is van de belasting van woongebieden. Op basis hiervan is de belasting van rioolstelsels geschat op 0,12 (laag) tot 11 (hoog) ton zink per jaar. Uitgaande van gemiddelde in plaats van mediane zinkgehalten is de range 0,4 (laag) tot 37,6 (hoog) ton zink per jaar. De marge heeft betrekking op de reken scenario’s; de onzekerheid is niet gekwantificeerd.

Op basis van de schattingen in dit rapport, is de bijdrage van boombladeren aan de totale zinkbelasting van het Nederlandse oppervlaktewater niet verwaarloosbaar klein, maar ook niet groot. Hierbij moet echter rekening gehouden worden met het verkennende karakter van de schatting.

De belangrijkste aanbeveling is om een aantal belangrijke parameters in de schatting door middel van metingen te kwantificeren.

Inhoud

	pagina
Samenvatting	2
1. Inleiding.....	4
2. Belasting van oppervlaktewater met zink door invallende bladeren.....	6
2.1 Schatting absolute belasting.....	6
2.2 Schatting van de relatieve belasting.....	11
3. Belasting van rioolstelsels met zink uit bladeren	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Langs bladeren afstromend regenwater	14
3.3 Bladval in gerioleerde gebieden.....	17
3.4 Lot van afgevallen bladeren op het verharde oppervlak.....	22
4. Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek	26
5. Referenties	29
6. Authorisatie	33

1. Inleiding

De zinkemissie naar het Nederlandse oppervlaktewater bedraagt ca. 458 ton/jaar (RIVM, 1995; zie Tabel 1). In discussies rondom de bronnen en emissies van zink naar oppervlaktewater wordt met enige regelmaat gesproken over de bijdrage van zink in bladeren (riet, boombladeren) aan de zinkbelasting van het Nederlandse oppervlaktewater. Het is op dit moment niet duidelijk wat het kwantitatieve belang van deze emissieroute is.

Tabel 1 Bronnen en emissies van zink in Nederland volgens basisgegevens Milieubalans-1995 (RIVM, 1995)

Bronnen	Emissieroutes (t/j)						
	Netto belasting oppervlaktewater (t/j)	influent rwzi	effluent rwzi	overstort	regen-riool	ongezuiverd riool	direct
industrie	28,8	0	0	0	0	0	28,8
communaal	27,4	93,6	26,0	0,8	0	0,6	0
bouwmaterialen ¹	341,2	294,5	81,9	75,8	101,4	2,6	79,4
scheepvaart	27,5	0	0	0	0	0	27,5
verkeer	16,0	9,2	2,6	2,6	2,1	0,1	8,6
depositie	10,6	1,7	0,5	0,5	1,5	0,0	8,1
overig	6,1	4,5	1,2	0,0	0,0	0,0	4,8
totaal	457,5	403,5	112,2	79,7	105,0	3,3	157,2

In juni 1999 heeft het RIZA aan TNO-MEP de opdracht verleend om een verkennende schatting te maken van de belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met zink uit bladeren, met als voornaamste doel het bepalen of er in de belasting van rioolstelsels en oppervlaktewater rekening gehouden moet worden met bladeren. Het onderhavige rapport is het resultaat van deze studie. De studie is gericht op twee emissie-routes: de directe inval van bladmateriaal in oppervlaktewater (hoofdstuk 2), en de belasting van rioolstelsels met zink uit bladeren (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op één specifiek aspect, namelijk de interactie tussen regenwater en (levende) bladeren, wat mogelijk tot een extra belasting van het rioolstelsel kan leiden.

De onderhavige studie heeft een sterk verkennend karakter. Indien bepaalde gegevens niet beschikbaar of onzeker zijn, is een schatting gemaakt. Dit is expliciet in de tekst aangegeven.

¹ Een recente door TNO-MEP uitgevoerde studie naar de afspoelsnelheid van atmosferisch blootgesteld zink wijst op een aanzienlijk lagere netto belasting van het oppervlaktewater door bouwmaterialen van ca. 60 ton/jaar.

Het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (ir. J. Kopinga) heeft een bijdrage geleverd aan hoofdstuk 3. Daarnaast gaat dank uit naar mw. drs. J. van Dijk (DWR) en dr. W. van Tilborg (VTBC) voor het becommentariëren van het concept-rapport.

2. Belasting van oppervlaktewater met zink door invallende bladeren

2.1 Schatting absolute belasting

Als oppervlaktewater beschaduwd wordt door bomen, of als er bomen of struiken in de directe omgeving van oppervlaktewater aanwezig zijn, kunnen bladeren in het oppervlaktewater vallen en daarmee een bron van zink vormen. De hoeveelheid bladeren verschilt per watertype. De totale belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met bladmateriaal kan worden geschat door voor een aantal (n) verschillende watertypen (i) de belasting met bladmateriaal (g/m²/jaar) te vermenigvuldigen met het areaal (m²) van deze watertypen in Nederland, en deze termen vervolgens te sommeren. Als dit vervolgens wordt vermenigvuldigd met het zink gehalte in bladmateriaal, kan de totale directe zinkbelasting van het Nederlandse oppervlaktewater uit bladeren worden geschat (alle getallen zijn op basis van droge stof gehaltenes):

$$Direct = \text{gehalte} * \sum_{i=1}^n \text{areaal}_i * \text{belasting}_i$$

Met:

Parameter	Omschrijving	Eenheid
Direct	Belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met zink uit bladeren die direct in het water vallen	g/jaar
gehalte	Gehalte zink in bladmateriaal	g Zn/ g DW blad
i	Index voor het watertype	-
n	Totaal aantal watertypen	-
areaal _i	Areaal van watertype i in Nederland	m ²
belasting _i	Belasting van watertype i met bladmateriaal	g DW blad/m ² ,jaar

Deze termen zullen in het vervolg van deze paragraaf worden gekwantificeerd.

Gehalte zink in bladmateriaal

Het zinkgehalte in bladeren en andere plantedelen is uitgebreid onderzocht. Het zinkgehalte van bladeren varieert tussen verschillende soorten, tussen verschillende delen van de plant, en is ook afhankelijk van het zinkgehalte van de bodem (standplaats). Volgens Fortescue & Marten (1973) is het gemiddelde zinkgehalte van planten 20 mg/kg, en van naaldbomen 30 mg/kg. Volgens De Vries & Bakker (1998) is het zinkgehalte van gras en heide ca. 30-70 mg/kg, van naaldbos 20-70 mg/kg en van gemengd bos 20-70 mg/kg. Zimka *et al.* (1981) rapporteren zinkgehaltenes in boombladeren voor verschillende lokaties met variërende zinkbelasting (omgeving van smelterijen). Het gehalte in berkeblad was 154-844 mg/kg; in elzeblad 51-264 mg/kg; in lindeblad 42-189 mg/kg en hazelaarblad 49-204 mg/kg. Bij deze vier boomsoorten nam het zinkgehalte in het blad toe bij toenemend zinkgehalte in de grond. In vier andere bladsoorten nam het

zinkgehalte niet significant toe (range gehalten 32 -105 mg/kg). Sommige planten kunnen zink accumuleren, zo rapporteren Van der Hoeven en Henzen (1995) zinkgehaltenes in klaver (*Trifolium pratense*) spruiten van 78-1100 mg/kg. Groencompost bevat ca. 133 mg/kg zink (range 92-200) (Van Hedel, TNO, pers. comm.). Kay *et al.* (1988) rapporteren zinkgehaltenes in pas gevallen boomblad (oktober): populier 1495 mg/kg; eik 80 mg/kg en esdoorn 52 mg/kg. Van der Werff (1981) geeft zinkgehaltenes in de bladeren van een aantal boomsoorten: hazelaar 65 mg/kg; haagbeuk 43 mg/kg; zomereik 43 mg/kg; wilde lijsterbes 65 mg/kg; Boswilg 57 mg/kg; gewone vlier 112 mg/kg en ruwe berk 503 mg/kg. Denneman *et al.* (1986) geven waarden van 52-148 mg/kg voor de grove den en 1208 mg/kg voor de zomereik. Vangronsveld (pers. comm. in: Van Tilborg, 1999) noemt een waarde van 500 mg/kg voor de schietwilg.

Voor een schatting van het zinkgehalte van bladeren zijn de gegevens voor loofbomen en heesters in de gematigde streken geselecteerd. De waarden van Zimka *et al.* (waarden van de referentielokaties), Van der Werff, Denneman *et al.* en Vangronsveld worden het meest relevant geacht. De waarden van Kay *et al.* betreffen een verontreinigde lokatie (Broekpolder). Het mediane en gemiddelde zinkgehalte van de geselecteerde waarden is resp. 65 en 222 mg/kg. Deze zullen verder als uitgangspunt voor de berekeningen worden gebruikt. Uit de geciteerde waarden wordt echter duidelijk dat het zinkgehalte sterk varieert tussen plantensoorten en tussen lokaties. Bij bepaalde plantensoorten, zoals klaver, populier, en zomereik kan het zinkgehalte onder bepaalde omstandigheden aanzienlijk hoger zijn dan het gemiddelde, tot > 1000 mg/kg. Hier moet rekening mee gehouden worden als de algemene conclusies op specifieke situaties worden betrokken.

De schatting komt redelijk overeen met gegevens van Zacharias-Langhans (1997), die een onderzoek heeft uitgevoerd naar het zinkgehalte in bladeren van stadsbomen in Hamburg (Dld.). Hij vond een gemiddelde waarde van 135 mg/kg DW (minimum 15, maximum 1059), hoger dan in referentie (bos) gebieden (gemiddelde 42 mg/kg DW).

Areaal

Volgens CUWVO (1988) is de totale lengte van de **beken** in Twente bijna 2000 km, waarvan ca. 5% nagenoeg natuurlijk en ca. 12% potentieel natuurlijk. Beken komen echter ook voor in Limburg, de Veluwe, Brabant, Drente en Salland, waardoor de totale lengte aan beken aanzienlijk groter is. Ervan uitgaande dat de lengte van de Twentse beken ook indicatief is voor de andere gebieden, is de totale lengte ca. 12.000 km, waarvan 2040 km nagenoeg natuurlijk of potentieel natuurlijk. Deze schatting is aanzienlijk hoger dan het getal dat Min. LNV (1995) geeft voor het huidige areaal halfnatuurlijke beken (binnen de Ecologische Hoofd Structuur): minimaal 5 km, met als natuurbeleidsdoelstelling 415 km. Uitgaande van de getallen van de CUWVO, een gemiddelde beekbreedte van ca. 5 m, en de

aanname dat alleen de nagenoeg natuurlijke en potentieel natuurlijke beken beschaduwd zijn, is het oppervlak beken waar bladmateriaal in valt ca. 10,2 km².

In Nederland zijn ca. 1100 **vennen** (Min. LNV, 1995). Volgens CUWVO (1988) varieert het oppervlak van vennen van enkele m² tot enkele ha. Uitgaande van een (arbitrair gekozen) gemiddeld oppervlak van ca. 0,1 ha is het oppervlak vennen in Nederland ca. 1,1 km².

Van de Nederlandse **grote rivieren** is de Maas in Nederland ca. 300 km lang. De Rijn kan worden verdeeld in IJssel (ca. 133 km), Waal (ca. 93 km) en het traject Gorkum - Hoek van Holland (75 km) (CUWVO, 1988). Uitgaande van (arbitrair gekozen) respectievelijke breedtes van 100 m, 100 m, 150 m en 200 m is het totale oppervlak van de grote rivieren in Nederland ca. 72,3 km².

Gegevens over de lengte van de **kleinere rivieren** die Nederland telt (zoals de Eem, de Vecht, de Roer, de Dieze, de Linge, etcetera) zijn niet beschikbaar. Volgens het CBS (1999) is de totale lengte bevaarbare rivieren in Nederland ca. 841 km. De grote rivieren zijn samen 601 km lang (zie boven). Aangenomen wordt dat alle kleine rivieren bevaarbaar zijn, waarmee de totale lengte kleine rivieren geschat wordt op 240 km. Waarschijnlijk is dit een onderschatting. Uitgaande van een (arbitrair gekozen) breedte van ca. 40 m is het oppervlak ca. 9,6 km².

De totale lengte van **sloten** in Nederland is ca. 250.000 à 300.000 km (CUWVO, 1988). Uitgaande van een breedte van ca. 5 m is het oppervlak van de sloten ca. 1375 km². Dit past in de aanname in CUWVO (1988) dat ca. 1-10% van het geografisch oppervlak van Nederland sloot is (1375 km² = ca. 4%).

In het STOWA beoordelingssysteem voor **meren** (STOWA, 1993) zijn gegevens over meren van 13 waterbeheerders geïnventariseerd (die tezamen ongeveer 2/3 van het oppervlak van Nederland dekken). Er vanuit gaande dat de waterbeheerders gegevens over alle meren in hun beheersgebied hebben aangeleverd (totaal: 93 meren), dan is het totaal aantal meren in Nederland ca. 140. Uitgaande van een gemiddeld oppervlak van ca. 60 ha (meren in Gelderland; Provincie Gelderland, 1999), is het totaal oppervlak ca. 84 km².

Het **IJsselmeer** wordt door zijn grootte in vergelijking tot andere meren als apart water gezien. Het oppervlak van de randmeren is ca. 11.400 ha (114 km²); dat van het IJsselmeer 192.500 ha (1925 km²) (Van Dessel, 1988).

De totale lengte bevaarbare **kanalen** in Nederland is 3745 km (CBS, 1999). Er vanuit gaande dat alle kanalen in Nederland bevaarbaar zijn en een breedte hebben van ca. 30 m, is het oppervlak aan kanalen ca. 112 km².

Volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek is het oppervlak van Nederland 41526 km², waarvan 41028 km² gemeentelijk is ingedeeld. Hiervan is 4140 km² buitenwater (in open verbinding met de zee, zoals Waddenzee, Oosterschelde, Westerschelde) en niet relevant voor deze studie. 2962 km² bestaat uit binnenwater (water breder dan 6 m dat niet in verbinding staat met de zee: IJsselmeer, rivieren, kanalen, meren, etcetera.). Volgens de schattingen in deze paragraaf is het totaal oppervlak aan wateren breder dan 6 meter (vennen + grote rivieren + kleinere rivieren + meren + randmeren + IJsselmeer + kanalen) ca. 2318 km². Gegeven het feit dat de Zeeuwse wateren (Delta) hier niet in zijn opgenomen, is de overeenkomst met het CBS-getal redelijk goed. Wateren smaller dan 6 m vallen volgens de indeling van het CBS onder andere categorieën (bebouwd gebied, agrarisch gebruik, bos, natuurlijk terrein of overige gronden) en het oppervlak is daardoor niet bij het CBS bekend. Het totaal oppervlak van deze wateren (beken en sloten) is in deze paragraaf geschat op ca. 1385 km². De resultaten zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Schatting van het oppervlak van verschillende watertypen in Nederland (onderbouwing: zie tekst). Tevens is het totaal-oppervlak dat door het CBS wordt gegeven in de tabel opgenomen

Indeling volgens CBS	Watertype	Oppervlak (km ²)
Breder dan 6 m	grote rivieren	72,3
	kleine rivieren	9,6
	meren	84
	randmeren	114
	IJsselmeer	1925
	kanalen	112
	vennen	1,1
	Totaal	2318
	Totaal volgens CBS	2926
Smaller dan 6 m	beken	10,2
	sloten	1375
	Totaal	1385
	Totaal volgens CBS	niet bekend

Het grootste oppervlak aan water wordt gevormd door het IJsselmeer en sloten. Een veel kleiner deel wordt ingenomen door de randmeren, kanalen, meren en de grote rivieren. Het oppervlak aan beken, kleine rivieren en vennen is klein ten opzichte van de andere watertypen.

Belasting

Er is weinig bekend over de bladinvall in oppervlaktewater. In enkele studies is wel de belasting met organisch koolstof geschat, vaak als onderdeel van koolstofbalansen voor wateren. Saunders (1976) citeert onderzoek in Lake Lawrence (Michigan, USA). De belasting van het meer met allochtoon, particulier organisch materiaal is 4,1 g C/m²/jaar. Petersen & Cummins (1974) geven een overzicht van de allochtone input in verschillende wateren. In beken was de input 0,97 - 5,0 g/m²/dag; in de rivier de Thames 0,0489 g/m²/dag (en in het

beschaduwde deel 4,35 g/m²/dag). In de plas Vechten (zandwinput) is de belasting uit bladinvall ca. 4 g/m²/jaar (Gons, s.a.). AquaSense heeft een studie gedaan naar de belasting van de Amsterdamse stadsgrachten met bladmateriaal, maar kon niet tot een kwantitatieve schatting komen door gebrek aan informatie (AquaSense, 1995). Organisch materiaal bestaat voor ca. 40-50% uit koolstof (Gons, s.a.). Hieruit kan een indicatieve belasting van verschillende watertypen met allochtoon organisch materiaal worden berekend: beken ca. 2150 g/m²/jaar; meren ca. 9 g/m²/jaar; rivieren ca. 40 g/m²/jaar. Ter vergelijking: in een helofytenfilter in Amsterdam is de bladinvall gemeten. De hoeveelheid blad was 644 g DW/m² (DWR, pers. comm.).

Voor deze studie wordt aangenomen dat het overgrote deel van het allochtoon organisch materiaal, dat in de diverse wateren is gemeten, uit (boom-)bladeren bestaat.

Het blijkt dat de aldus berekende getallen afwijken van de gemiddelde bladval in gematigde loofbossen (ca. 300 g/m²/jaar, zie hoofdstuk 4). Systemen als beschaduwde beken en de helofyten-filters vangen meer bladeren dan de gemiddelde bladval. Dit kan veroorzaakt worden doordat de bladproductie van bomen langs de rand van het bos (de oever) hoger is dan in het bos, doordat het licht zowel van opzij als van boven komt ("uitschaduwning" in gesloten vegetaties). Een andere verklaring is dat wateren bladeren kunnen verzamelen, doordat bladeren van elders door de wind worden aangevoerd. In deels beschaduwde wateren, zoals meren, is de gemiddelde bladval (zoals mag worden verwacht) aanzienlijk lager dan in gematigde loofbossen.

Schatting van de totale directe belasting

Op basis van het areaal van de verschillende watertypen in Nederland, de belasting van de watertypen met bladmateriaal en het zinkgehalte van de bladeren is een schatting gemaakt van de zinkbelasting van de wateren (zie Tabel 3). Voor de schatting is het nodig om een aantal pragmatische aannames te doen. Deze zijn onderaan de tabel weergegeven.

Tabel 3 *Schatting van de totale input van zink ten gevolge van invallende bladeren in oppervlaktewater, uitgaande van een mediaan zinkgehalte (65 mg/kg) en een gemiddeld zinkgehalte (222 mg/kg)*

	Oppervlak (km ²)	Belasting bladeren (g/m ² ,jr)	Bladinval (ton/jr)	Zinkinval mediaan (ton/jr)	Zinkinval gemiddeld (ton/jr)
grote rivieren	72,3	40	2892	0,19	0,64
kleine rivieren	9,6	40	384	0,02	0,09
meren	84	9	756	0,05	0,17
randmeren	114	9 ^a	1026	0,07	0,23
IJsselmeer	1925	0 ^b	0	0,00	0,00
kanalen	112	40 ^c	4480	0,29	0,99
vennen	1,1	1000 ^d	1100	0,07	0,24
beken	10,2	1075 ^e	10965	0,71	2,43
sloten	1375	21,5 ^f	29563	1,92	6,56
Totaal			51166	3,33	11,36

^a Waarde voor meren aangenomen

^b Aangenomen dat de bladinval verwaarloosbaar is, door bedijking en de grote oppervlak: oever verhouding.

^c Waarde voor rivieren aangenomen

^d Arbitrair 1000 mg/kg aangenomen, als waarde tussen beken (2150 mg/kg) en meren (9 mg/kg).

^e Aangenomen dat ca. 50% van de beek beschaduwd is.

^f Uitgegaan van de waarde voor beken, en een fractie van 0,01 (1%) beschaduwing (arbitrair).

Het resultaat van de schatting is dat jaarlijks ca. 3 ton zink (uitgaande van het mediane zinkgehalte) resp. 11 ton zink (uitgaande van het gemiddelde zinkgehalte) door de inval van bladmateriaal in het oppervlaktewater terecht komt. Uitgaande van het minimum zinkgehalte (ca. 20 mg/kg) resp. maximum zinkgehalte (1495 mg/kg) is de schatting 1 ton/jaar resp. 76 ton/jr. De grootste bijdrage wordt geleverd door sloten en beken. Bij sloten moet rekening gehouden worden met een grote onzekerheid in het percentage beschaduwing. Bij beken geldt hetzelfde, maar hierbij is ook de totale lengte niet duidelijk.

2.2 Schatting van de relatieve belasting

In de vorige paragraaf is de absolute belasting van oppervlaktewater met zink uit ingevallen bladeren geschat. De relatieve belasting van een watertype kan ook worden geschat, door de belasting met zink (g/m²/jaar) te vergelijken met de “critical load” (g/m²/jaar) voor dit watertype. De belasting met zink (“load”) kan berekend worden door:

$$Load_i = belasting_i * gehalte$$

Met:

Parameter	Omschrijving	Eenheid
Load _i	Belasting van watertype i met zink uit bladmateriaal dat direct in het water valt	g/m ² /jaar
belasting _i	Belasting van watertype i met bladmateriaal	g DW blad/m ² /jaar
gehalte	Gehalte zink in bladmateriaal	g Zn/ g DW blad
i	Index voor het watertype	-

In paragraaf 2.1 is informatie over de belasting van oppervlaktewater met bladmateriaal en het zinkgehalte van bladmateriaal gepresenteerd. Op basis hiervan is de zinkbelasting van de watertypen te schatten. Critical loads voor deze watertypen (Tabel 4) zijn berekend door Bakker & Van den Hout (1993). Voor de achtergronden van het concept en de berekening wordt verwezen naar het rapport.

Tabel 4 Critical loads voor zink (g/m².jaar) op basis van de streefwaarde en de MTR (Min. V&W, 1997).

Type	Critical load streefwaarde (g/m ² /jaar)#	Critical load MTR (g/m ² /jaar)\$
Ven	1,25E-03	4,40E-03
Sloot	7,33E-02	2,44E-01
kanaal	1,01E+00	3,36E+00
Beek	2,53E+00	8,40E+00
Kleine rivier	6,93E-01	2,32E+00
Grote rivier	6,13E+00	2,04E+01
Klein meer	2,40E-03	8,00E-03
Groot meer	1,47E-01	4,80E-01

= Gebaseerd op streefwaarde van 12,0 µg/l totaal-zink (Bakker & Van den Hout, 1993; geactualiseerd op aanwijzing van drs. D.J. Bakker)

\$ = Gebaseerd op MTR van 40,0 µg/l totaal-zink (Bakker & Van den Hout, 1993; geactualiseerd op aanwijzing van drs. D.J. Bakker)

Uit de vergelijking van de load met de critical load (Tabel 5) blijkt dat de relatieve belasting sterk verschilt per watertype. In het watertype “grote rivier” is het aandeel van zink uit ingevallen bladeren slechts 0,04 % van de belasting die nodig is om de streefwaarde van 12 µg/l te bereiken. Bij vennen is de relatieve belasting aanzienlijk hoger: de berekende belasting overschrijdt de critical loads.

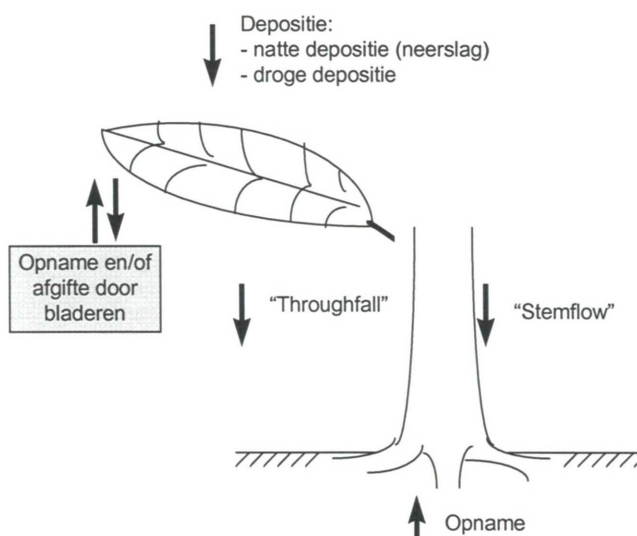
Tabel 5 Belasting van het oppervlaktewater met zink uit invallend bladmateriaal, uitgedrukt als fractie van de critical load. De aannames ten aanzien van de belasting zijn identiek als in Tabel 3. Voor de berekening van de zinkinval is uitgegaan van het mediane zinkgehalte in bladeren.

	Belasting (g blad/m²/jr)	Zinkinval (g Zn/m²/jr)	Fractie van critical load streefwaarde	Fractie van critical load MTR
Ven	1000	5,2E-02	5,2E+01	1,5E+01
Sloot	21,5	1,1E-03	1,9E-02	5,7E-03
kanaal	40	2,1E-03	2,6E-03	7,7E-04
Beek	1075	5,6E-02	2,8E-02	8,3E-03
Kleine rivier	40	2,1E-03	3,8E-03	1,1E-03
Grote rivier	40	2,1E-03	4,2E-04	1,3E-04
Klein meer	9	4,7E-04	2,4E-01	7,3E-02
Groot meer	9	4,7E-04	4,0E-03	1,2E-03

Voor de vergelijking is aangenomen dat het zink dat met bladmateriaal in het oppervlaktewater terecht komt, volledig in de waterkolom terecht komt. Dit is waarschijnlijk een overschatting, omdat mogelijk een deel van het bladmateriaal in de waterbodem terecht komt (bedekt wordt) en niet geheel zal afbreken.

3. Interactie tussen afstromend regenwater en bladeren

Zink is een essentieel element en het zinkgehalte wordt door planten gereguleerd. Dit betekent dat de opname of afgifte van zink uit regenwater door boombladeren eigenlijk ook in het bredere perspectief van de zinkbalans van vegetatie gezien moet worden. In het kader van deze studie is echter slechts één vraag van belang: *Neemt regenwater, dat in contact komt met (levende) vegetatie, zink op door het contact met de vegetatie of staat het juist zink af aan de vegetatie?*



Figuur 1 Schematische weergave van de opname en/of afgifte van zink door bladeren, in relatie tot andere processen en stromen.

Bij contact tussen regenwater en boombladeren kunnen verschillende interacties optreden (Scherbatskoy & Tyree, 1990):

1. Stoffen die op het blad aanwezig zijn, door droge atmosferische depositie of uitscheiding uit het blad, kunnen met het regenwater afspoelen en/of in het regenwater oplossen;
2. Stoffen kunnen door het blad worden opgenomen ("foliar uptake") of door het blad worden uitgescheiden ("foliar excretion"). Dit geldt met name voor neutrale zouten en zwakke zuren en basen;
3. Stoffen kunnen worden geconsumeerd of getransformeerd door microflora op het blad.

Over de (actieve) excretie van zink uit boombladeren is in het kader van deze verkennende studie geen informatie gevonden, noch door TNO-MEP, noch door het IBN-DLO die een literatuur-search hebben uitgevoerd waarin dit onderwerp een centrale vraag was. Uit het feit dat weinig gevonden is, kan worden geconcludeerd dat (actieve) excretie van zware metalen kennelijk een weinig

beschreven verschijnsel is. Dit hoeft echter niet noodzakelijkerwijs te betekenen dat het ook niet of nauwelijks in de praktijk voorkomt.

Zink kan uit bladeren logen bij een lage pH. Mengel *et al.* (1987) voerden een studie uit met sparrebladeren die blootgesteld werden aan zure en aan 'controle' nevel. De zure nevel zorgde voor een significant verhoogde uitloging van o.a. zink. De hoeveelheid uitgeloozd zink was aanzienlijk, maar het zinkgehalte van de naalden veranderde niet ten opzichte van de controle-naalden, wat erop wijst dat het zink werd gecompenseerd door zinkopname. De waslaag van de naalden bleek door de zure nevel te zijn aangetast. Dit is in overeenstemming met de conclusie van Fiedler (1988), die opmerkt dat de zink deficiëntie van Sparren in Noorwegen wellicht veroorzaakt wordt door zink uitloging door zure regen in combinatie met een verhoogde membraan-permeabiliteit t.g.v. foto-oxidatie. In experimenten van Scherbatskoy & Tyree (1990) werden bladeren in het laboratorium in contact gebracht met (kunstmatig) regenwater. De zinkconcentratie van het regenwater veranderde niet significant ten gevolge van het contact. Variatie van de pH en de contacttijd had geen effect.

In het kader van bemestingsonderzoek is de opname van zink door bladeren bestudeerd. Chamel & Gambonnet (1982) hebben laboratorium-experimenten uitgevoerd waarin zink door bladmateriaal bleek te kunnen worden opgenomen. Het opgenomen zink bleek gedeeltelijk weer verwijderd te worden na wassen met water, en geheel verwijderd te kunnen worden met een ionen-uitwisselings oplossing. Verwijderen van de waslaag versnelde de zinkopname. In een studie van Zhang *et al.* (1999) met radiogelabeld zink bleek ca. 8-12% van het zink wat op walnoot en pistache-bladeren was gebracht, door het blad te zijn opgenomen (na wassen van het blad). Volgens de auteurs wordt foliar uptake van zink gedomineerd door ionen-uitwisseling en/of diffusie-processen, en niet door een actieve opname. Timperley *et al.* (1973) onderzochten waar micronutrienten in bladeren voorkomen. Zink bleek zowel in chloroplasten als in supernatant (na centrifugeren) voor te komen, voornamelijk in anionische complexen. Volgens Wallace *et al.* (1979) zou verontreinigd stof een belangrijke zink-bron voor bladeren kunnen zijn. Zink blijkt een mobiel element in planten te zijn (Rachwal *et al.*, 1993).

Het netto-effect van opname en afgifte-processen kan mogelijk worden afgeleid uit studies waarin de depositie van zink is gemeten, tezamen met de concentratie in throughfall en stemflow (zie Figuur 1). Er zijn een aantal, soms tegenstrijdige, studies beschikbaar. Opakunle (1991) beschrijft de cycling van micronutrienten in een cacao-plantage in Nigeria. Op jaarbasis blijkt de hoeveelheid zink in stemflow en throughfall geringer te zijn dan de depositie, wat wijst op retentie van zink door het bladerdek. Ook Mahendrappa (1987) concludeert dat zink door het bladerdek wordt opgenomen, op basis van metingen in 6 naaldbossen en 3 loofbossen in Canada. In een studie van Petty & Lindberg (1990) in een sparrenbos op grote hoogte in de VS werd een netto retentie van zink door het bladerdek gemeten,

maar het is niet duidelijk of hierbij ook de stemflow is gemeten. Hetzelfde geldt voor een studie van Bergkvist *et al.* (1989), die op elf lokaties in Zweden metingen verrichtten en in negen van de elf gevallen retentie van zink vaststelde, en in drie van de elf gevallen een verhoogde concentratie in de throughfall ten opzichte van de depositie. Skrivan *et al.* (1995) concluderen echter op basis van metingen aan depositie, throughfall en stemflow in een beukenbos in Bohemen (Tjechië), dat het zinkgehalte in throughfall significant hoger is (5 keer) dan de depositie, wat de auteurs wijten aan metabolische processen van de bomen. Het betreft hier een vervuilde situatie. Ook in Ukonmaanaho *et al.* (1998) werd geconstateerd dat de concentratie zink in throughfall en vooral in stemflow hoger was dan in neerslag. Hier wordt dat echter deels verklaard doordat metalen door droge depositie op de bladeren worden afgezet en vervolgens met regenwater van de bladeren afspoelen. De auteurs vermoeden echter dat uitloging uit de bladeren ook een rol speelt. Eén van de meest representatieve studies (Kopinga, pers. comm.) is een studie van Atteia & Dambrine (1993) waar in een gemengd bos (niet verontreinigd, natuurlijk beheerd, op 1360 m hoogte) werd vastgesteld dat contact van regenwater met het bladerdek niet tot een netto opname of afgifte van zink leidde, maar dat de zinkconcentratie in de neerslag niet beïnvloed werd door het bladerdek.

Concluderend is het niet mogelijk om in het kader van een verkennende studie een betrouwbare uitspraak te doen over contact tussen regenwater en bladerdekken als mogelijke bronterm van zink. Op proces-niveau zijn zowel de opname van zink uit regenwater als de uitloging van zink uit bladeren (met name onder invloed van een lage pH) mogelijk, en studies waarin het netto effect van het bladerdek is bepaald geven tegenstrijdige resultaten. In het kader van deze studie is besloten om er van uit te gaan dat het netto effect van contact tussen regenwater en het bladerdek ongeveer nul is, oftewel dat er geen netto retentie of uitspoeling van zink optreedt.

4. Belasting van rioolstelsels met zink uit bladeren

4.1 Inleiding

Naast de directe belasting van het oppervlaktewater door invallend bladmateriaal is de indirecte belasting van oppervlaktewater via rioolstelsels een mogelijke route. In dit hoofdstuk wordt geschat wat de belasting van rioolstelsels met zink uit bladeren is. De belastingsroutes die in deze studie zijn onderzocht zijn:

1. Afgevallen bladeren kunnen op verhard oppervlak (wegen, daken) terecht komen. De fractie die *niet* wordt opgeruimd kan vervolgens via regenpijpen of straatkolken in het riool terecht komen.
2. Afgevallen bladeren op verhard oppervlak die *wel* worden opgeruimd kunnen gedeeltelijk worden afgebroken alvorens ze worden opgeruimd. Zink dat daarbij vrijkomt kan met regenwater naar het riool worden getransporteerd (via straatkolken).

In dit hoofdstuk kwam verschillende malen het probleem aan de orde dat bepaalde parameterwaarden moeilijk te schatten zijn. In overleg met de opdrachtgever en de in hoofdstuk 1 genoemde personen is besloten om in deze gevallen drie scenario's door te rekenen, waarin de parameterwaarde "laag", "normaal" of "hoog" geschat is.

4.2 Bladval in gerioleerde gebieden

Gerioleerd gebied in Nederland

Het oppervlak van Nederland is 41526 km², waarvan 33882 km² land is (CBS, gegevens voor 1997). Volgens Haskoning (1998) is de hoeveelheid op de riolering afvoerend verhard oppervlak 161245 ha (1612,45 km²). Dit kan weer worden onderverdeeld in bedrijfsterreinen (ca. 600 km²) en woongebieden (ca. 1000 km²). Het verhard oppervlak in de woongebieden bestaat uit daken van woningen (352 km²), woonerven/rustige straten/voetpaden/fietspaden (251 km²), drukkere straten/parkeren in rijen (201 km²) en doorgaande wegen/ bushaltes/ marktterreinen/ parkeerterreinen (201 km²). Er zijn nagenoeg geen gegevens bekend over de afspoeling van onverharde terreinen naar rioolstelsels. Het totaal onverhard oppervlak binnen de bebouwde kom wordt door Haskoning (1998) geschat op 150236 ha (1502,36 km²). Dit getal is gebaseerd op CBS-statistieken.

Op regionale schaal is het landgebruik in meer detail bekend. Zo is in Amsterdam een inventarisatie gedaan naar het bodemgebruik. De resultaten zijn vermeld in Tabel 6.

Tabel 6 Bodemgebruik (%) in Amsterdam. Het totale oppervlak is 21886 ha. Bron: "Amsterdam in cijfers. Jaarboek 1998", Bureau onderzoek & statistiek, gemeente Amsterdam (met dank aan Mw. C. Hermans)

Categorie	Oppervlak (%)
Woongebied	22
Wegen/spoor-, tram-, metrobanen	5,9
Bedrijfsterreinen	13,3
Bouwterrein	6,5
Groenvoorzieningen	11,5
• begraafplaatsen	0,6
• sportterreinen/-voorzieningen	3,6
• volkstuinen, schoolwerktuinen, kinderboerderijen	1,6
• grote parken	4,8
• verblijfsrecreatie-terreinen	0,1
• dagrecreatie-terreinen	0,4
• bos	0,5
agrarisch/natuurlijk gebied	15,3
• agrarisch gebruik	13,5
• glastuinbouw	0,2
• nat natuurlijk terrein	0,2
• braakliggend terrein/ strekdammen	1,4
Vuilstortplaatsen e.d.	1,0
water	24,5
Totaal	100

Bladval per vierkante meter

Er zijn geen gegevens bekend over de bladval in stedelijke gebieden of in groenvoorzieningen. De bladval in boscossystemen is wel uitgebreid bestudeerd. Olsen (1973) beschrijft de productiviteit van eikenbossen in Europees Rusland. De productie van bladmateriaal in een 12 jaar oud eikenbos is 276 g/m²/jaar (eiken en andere houtige gewassen); in een 48 jaar oud eikenbos 309 g/m²/jaar. Het betreft netto primaire productie, exclusief uitloging naar regenwater en consumptie door dieren. Duvigneaud en Denaeyer-De Smet (1973) beschrijven de productie en biomassa van gemengde eikenbossen in Wallonië. De productie van bladmateriaal door zomereik is 103 g/m²/jaar; door beuk 104 g/m²/jaar; door haagbeuk 130 g/m²/jaar en door de gewone esdoorn 8,8 g/m²/jaar (totaal door bomen: 346 g/m²/jaar). In Japan is de biomassa bladeren gemeten van een aantal (gematigde) bossen (monoculturen): larix 390 g/m², beuk 310 g/m² en berk 270 g/m² (Satoo, 1973). Berg (1997) rapporteert een jaarlijkse naaldval van 365 g/m² voor een naaldbos nabij Wekerom. Edwards *et al.* (1973) geven de ordegrrootte voor de 'litter production' in een aantal bostypen: 50 g/m²/jaar voor alpine/arctische bossen, 250-350 voor stabiele gematigde bossen, en 550 tot 1500 voor tropische bossen (waarschijnlijk is dit bladmateriaal en ander organisch materiaal zoals takken). De mediaan van de geciteerde getallen voor bladproductie in gematigde loofbossen is 309 g DW/m²/jaar. De hoeveelheid bladeren per m² van laanbomen is waarschijnlijk hoger dan die van bomen in bossen, omdat laanbomen niet alleen van boven licht ontvangen (geen "uitschaduwning" door andere bomen). De LAI (Leaf Area Index) voor laanbomen is hoger dan voor bomen in bossen. Voor

stadsbomen is 4 à 5 een goede schatting voor de LAI. Bij een “gemiddeld” bladgewicht van 100 g/m^2 (DW) betekent dit een bladval van 400 - 500 g/m^2 kroonprojectie (Kopinga, pers. comm.). In deze studie wordt voor bomen in groenvoorzieningen de waarde voor loofbossen aangehouden (dus: 309 $\text{g/m}^2/\text{jaar}$) en voor bomen in tuinen en langs wegen de gemiddelde waarde voor laanbomen: 450 $\text{g/m}^2/\text{jaar}$.

Totale bladval in gerioleerde gebieden

Voor de belasting van het rioolstelsel met bladmateriaal zijn de volgende routes te onderscheiden:

1. Bladeren die op daken vallen kunnen via dakgoten en de regenpijp in het riool belanden;
2. Bladeren van bomen die langs straten en op parkeerplaatsen, pleinen en andere verharde oppervlakken staan kunnen via straatkolken in het riool terecht komen;
3. Bladeren van bomen en struiken langs de randen van groenvoorzieningen kunnen op het verharde oppervlak terecht komen en in straatkolken terecht komen.

De hoeveelheid bladmateriaal die daadwerkelijk in het rioolstelsel terecht komt is zeer moeilijk te schatten. In het vervolg van deze sectie zal de hoeveelheid bladmateriaal voor elk van deze routes op basis van een aantal grove aannames geschat worden, maar bij de interpretatie van de resultaten moet bedacht worden dat hooguit de ordegrrootte van de schatting betekenis heeft.

Het verhard oppervlak van **daken** is, zoals eerder beschreven, 352 km^2 . Op het dak kunnen bladeren vallen van bomen die langs het huis groeien en het dak overschaduwden, of bladeren die door de wind uit nabije tuinen/ groenvoorzieningen worden aangevoerd. Er moeten (arbitrair) schattingen worden gemaakt van het dakoppervlak dat wordt beschaduwd (fractie van totaal), en het percentage van de bladeren dat uit dakgoten verwijderd wordt (en dus niet in het riool terecht zal komen). Deze schattingen zijn in de onderstaande tabel samengevat. Verder is aangenomen dat de bladval per m^2 beschaduwd oppervlak voor tuinen gelijk is aan de bladval voor laanbomen (450 $\text{g/m}^2/\text{jaar}$). Het resultaat van de schatting is een flux naar het rioolstelsel van 2 - 396 ton bladeren per jaar.

Rekenscenario	Fractie dak beschaduwd (%)	Fractie verwijderd (%)	Hoeveelheid bladmateriaal in riool (ton/jaar)
Laag	0,1%	99%	2
Middel	1%	95%	79
Hoog	5%	85%	1188

Het oppervlak aan **straten en ander verhard oppervlak** bestaat (zoals reeds eerder vermeld) uit woonerven/rustige straten/voetpaden/fietspaden (251 km^2),

drukkere straten/ parkeren in rijen (201 km²) en doorgaande wegen/ bushaltes/ marktterreinen/ parkeerterreinen (201 km²). De hoeveelheid bomen langs en op dit verharde oppervlak is zeer variabel. De hoeveelheid bomen die een deel van de straat beschaduwden varieert per 100 meter straat van geen of enkele bomen (overhangend uit tuinen) tot ca. 20 bomen (uitgaande van bomen aan weerszijden, met ca. 10 meter tussenruimte). Uitgaande van een doorsnee van de kruin van ca. 10 meter (oftewel, de bomen raken aan elkaar) en ervan uitgaande dat ca. de helft van de bladeren op de straat zal vallen, is dit maximaal ca. 800 m² boomoppervlak per 100 meter straat. Uitgaande van een breedte van ca. 10 meter voor de straat (incl. voetpaden) varieert het boomoppervlak per 1000 m² straat (100 m lengte, 10 m breedte) dus van ca. 0 m² (geen tot enkele bomen) tot ca. 800 m² (rij bomen aan weerszijden), oftewel 0 - 80%.

Om de belasting van het verhard oppervlak te schatten, moeten aannames gedaan worden over het percentage straten dat van een dubbele bomenrij is voorzien, en het percentage bladmateriaal dat wordt opgeruimd (het overgrote deel van de bladeren wordt opgeveegd; DWR, pers. comm.). In drie rekenscenario's zijn verschillende getallen voor deze twee parameters doorgerekend.

Rekenscenario	Fractie straten met een (dubbele) bomenrij	Fractie verwijderd van de straat (%)	Hoeveelheid bladmateriaal in riool (ton/jaar)
Laag	5 %	99%	118
Middel	20 %	95%	2351
Hoog	50 %	85%	17631

Als wordt uitgegaan van een bladval van 450 g/m²/jaar (laanbomen), dan is de uitkomst van de schatting ca. 100 - 18000 ton bladeren per jaar.

De aannames kunnen vergeleken worden met gegevens van AquaSense (1995). Zij citeren dat langs 37 grachten in Amsterdam 3377 bomen staan (voornamelijk iepen). Als wordt uitgegaan van een lengte van 500 m per gracht dan betekent dit 18 bomen per 100 meter; als wordt uitgegaan van een gemiddelde lengte van 3000 m per gracht dan staan er gemiddeld 3 bomen per 100 m. In de schatting is uitgegaan van gemiddeld ca. 10 bomen per 100 meter.

De hoeveelheid bladeren uit **groenvoorzieningen** die op het verharde oppervlak komt is moeilijk te schatten. In Amsterdam is het percentage groenvoorziening 11,5 %, en het percentage woongebied 22% (zie Tabel 6). Als deze verhouding voor heel Nederland geldt (woongebied ca. 1000 km²), dan is de hoeveelheid groenvoorzieningen ca. 522 km². De hoeveelheid bladeren die op het verhard oppervlak terecht kan komen is sterk afhankelijk van de vorm van de groenvoorzieningen, omdat de vorm de lengte van de rand bepaalt, en verwaaïen van bladeren naar het verhard oppervlak vooral aan de rand van de groenvoorziening zal gebeuren. Dit betekent dat een aanname over het gemiddeld

oppervlak van een groenvoorziening moet worden gedaan (zie onderstaande tabel). Daarnaast moet een aanname worden gedaan over het percentage van de bladeren (van bijvoorbeeld de buitenste 5 meter) dat op het verhard oppervlak valt en naar het verhard oppervlak verwaait. Als laatste is een aanname nodig over het percentage van de bladeren op het verhard oppervlak dat opgeveegd wordt. In drie rekenscenario's (zie onderstaande tabel) zijn verschillende mogelijkheden doorgerekend.

Rekenscenario	Gemiddelde afmeting groenvoorziening (m)	Fractie bladeren (buitenste 5 m) die op verhard oppervlak valt (%)	Fractie verwijderd van de straat (%)	Hoeveelheid bladmateriaal in riool (ton/jaar)
Laag	10 x 100	1%	99%	1
Middel	100 x 100	10%	95%	403
Hoog	100 x 1000	50%	85%	60487

Zink in bladeren

Het gehalte zink in bladmateriaal is in hoofdstuk 2 reeds beschreven. Er kan een mediane waarde van 65 mg/kg worden aangehouden, waarmee de zinkflux door bladval in gematigde loofbossen dus op ca. 0,020 g/m²/jaar komt (ca. 200 g/ha/jaar). Dit komt redelijk goed overeen met default-waarden van 136 g/ha/jaar in naaldbossen en 113 g/ha/jaar in loofbossen (bij verwaarloosbare depositie) die De Vries & Bakker (1998) berekend hebben. Voor laanbomen is de zinkflux hoger; uitgaande van een bladval van 450 g/m²/jaar is de zinkflux ca. 0,029 g/m²/jaar.

Totale zinkflux door bladval in gerioleerde woongebieden

In het voorgaande deel van deze paragraaf is op basis van een aantal grove aannames een eerste schatting gemaakt van de bladval in gerioleerde gebieden. In combinatie met het zinkgehalte van bladeren kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid zink die met de bladeren in het riool terecht komt (zie Tabel 7).

Tabel 7 Overzicht van de geschatte hoeveelheden gevallen bladeren en zink voor de drie in de tekst onderscheiden routes (toelichting: zie tekst). De uitgangspunten voor de rekenscenario's "laag", "middel" en "hoog" zijn reeds eerder genoemd

Bladmateriaal (ton DS/jaar)	Laag	Middel	Hoog
Daken	2	79	1188
Verhard oppervlak	118	2351	17631
Groenvoorzieningen	1	403	60487
<i>Totaal</i>	<i>120</i>	<i>2833</i>	<i>79306</i>
Zink (ton/jr)	Laag	Middel	Hoog
Daken	0,00010	0,0051	0,077
Verhard oppervlak	0,0076	0,15	1,1
Groenvoorzieningen	0,000052	0,026	3,9
<i>Totaal</i>	<i>0,0078</i>	<i>0,18</i>	<i>5,2</i>

Bedrijfsterreinen

Naast de ca. 1000 km² gerioleerd woongebied, bevat Nederland ook ca. 600 km² gerioleerde bedrijfsterreinen. De belasting van het rioolstelsel met bladeren vanaf deze bedrijfsterreinen is zeer moeilijk in te schatten. Om deze terreinen toch in de studie op te nemen, is er van uitgegaan dat de belasting van deze bedrijfsterreinen minder groot is dan uit woongebied (minder groen). Arbitrair is gesteld dat de belasting van rioolstelsels met bladeren vanaf bedrijfsterreinen ca. 50 % is van de belasting vanuit een even groot woongebied. Dit betekent dat de bijdrage van bedrijfsterreinen aan de belasting van rioolstelsels met zink ca. 0,002 - 1,6 ton zink per jaar is.

4.3 Lot van afgevallen bladeren op het verharde oppervlak

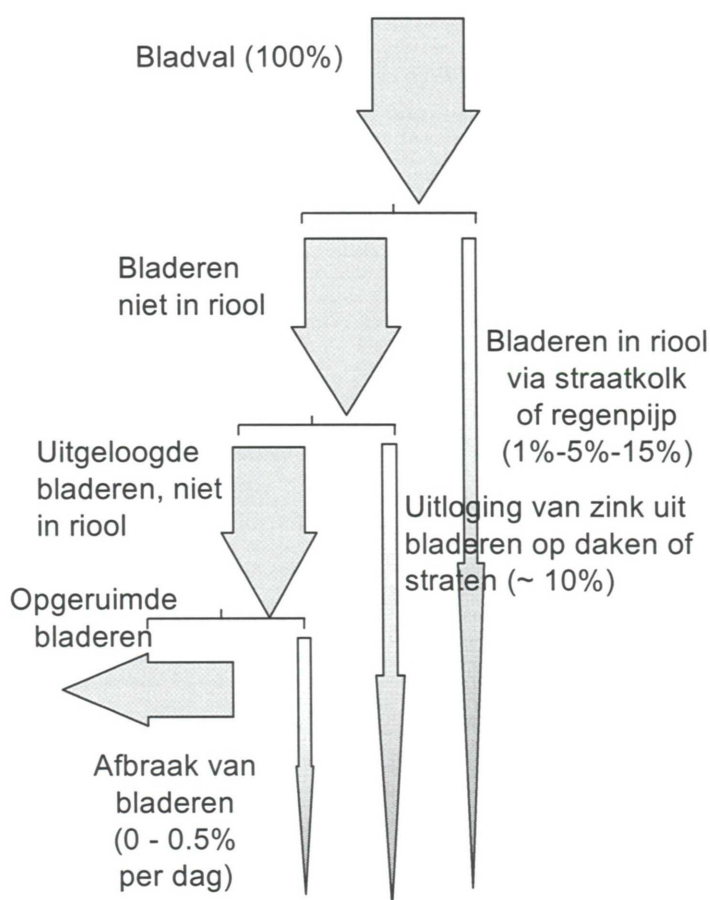
Zoals in paragraaf 3.3 is beschreven, zal slechts een klein deel van het blad dat op het verharde oppervlak valt ook daadwerkelijk in het riool terecht komen. De bladeren die worden opgeruimd (het grootste deel) kunnen echter al voor een deel afbreken alvorens ze worden verwijderd, waarbij een deel van het zink vrijkomt. Deze emissie wordt in deze paragraaf geschat.

Bladval op straten en ander verhard oppervlak

In de vorige paragraaf is een schatting gemaakt van de hoeveelheid blad die jaarlijks valt in woongebieden, bedrijfsterreinen en groenvoorzieningen. Het meeste blad valt in een relatief korte periode (ca. 1 maand) in het najaar.

In woongebieden zal het grootste deel van het gevallen blad op wegen, trottoirs, parkeerplaatsen, pleinen etcetera worden opgeveegd en als groenafval worden verwerkt. Omdat niet dagelijks geveegd wordt, zal het afgevallen blad eerst enige tijd op het verharde oppervlak liggen. Afhankelijk van de weersomstandigheden kan het blad in contact komen met regenwater. Daarnaast zal een deel van het bladmateriaal door mechanische stress (voetgangers, auto's) verkleind worden. Uitgaande van het wekelijks of tweewekelijks verwijderen van de bladeren, zal het blad gemiddeld na ca. 3,5 of 7 dagen verwijderd worden. Gedurende deze tijd kan mogelijk een deel van het zink uit het blad vrijkomen (zie Figuur 2). Onderzoek naar de afbraak van bladeren is over het algemeen òf gericht op afbraak in de strooisellaag van bossen, òf gericht op de afbraak in oppervlaktewater. In het oppervlaktewater wordt eerst een zeer snel gewichtsverlies van bladeren waargenomen ten gevolge van uitloging van makkelijk oplosbare bestanddelen (tot ca. 25% van het drooggewicht binnen 24 uur) waarna het langzamere proces van microbiologische afbraak aanvangt (Huwer & Van Dokkum, 1999). De afbraaksnelheid is afhankelijk van de bladsoort, de temperatuur en milieukarakteristieken, en bedraagt voor houtige gewassen ca. 0,01 tot 0,0015 per dag (dus 0,2 tot 1% per dag) (Webster & Benfield, 1986). In de strooisellaag van gematigde loofbossen is de afbraaksnelheid ca. 0,75 per jaar (75% per jaar) (Eijsackers & Zehnder, 1990). De

afbraak van bladeren op verhard oppervlak kan niet goed vergeleken worden met de afbraak in oppervlaktewater of in de strooisellaag, omdat er in die milieu's reeds geschikte schimmel- en bacteriepopulaties aanwezig zijn, en omdat ongewervelde dieren die als "knippers" (shredders) het bladmateriaal kleiner maken en daardoor de afbraak versnellen, afwezig zijn op het verhard oppervlak. Aan de andere kant vindt op bepaalde verharde oppervlakken (wegen, trottoirs) mechanische verkleining plaats. Waarschijnlijk zal het bladmateriaal op verhard oppervlak een deel van zijn gewicht (ordegrootte: 5-15%) verliezen ten gevolge van uitloging alvorens het bladmateriaal opgeruimd wordt. Dit proces wordt versterkt door mechanische stress. De (micro-)biologische afbraak in de periode van 3,5 tot 7 dagen is waarschijnlijk verwaarloosbaar ten opzichte van deze uitloging.



Figuur 2 Schematische weergave van het lot van bladeren op verhard oppervlak (daken, straten, pleinen, ...). Een deel van het gevallen blad komt via regenpijp of straatkolk in het riool terecht. Het blad dat niet in het riool terecht komt, wordt niet direct opgeruimd, waardoor uitloging kan optreden evenals microbiële afbraak van het uitgeloogde blad. Beide processen leiden tot een extra zinkflux naar het rioolstelsel

Voor het berekenen van de emissie is uitgegaan van een gemiddelde initiële uitloging van 10%. Dit betekent dat is aangenomen dat de zink niet selectief uitloopt uit of juist accumuleert in het bladmateriaal. Dit is een conservatieve aanname, want gegevens van Laskowski *et al.* (1995) en Bockheim & Leide (1986) geven aan dat zink zeer weinig mobiel is uit bladmateriaal, en dat het relatieve zinkgehalte van de bladeren stijgt tijdens het afbraakproces. Verder is aangenomen dat voor de korte periode voordat de bladeren opgeveegd worden de microbiële afbraak verwaarloosbaar is ten opzichte van de uitloging. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.

Bladval op daken

Voor dakgoten geldt in principe hetzelfde als voor bladmateriaal op straten, alleen is de verblijftijd langer zodat ook microbiële afbraak kan optreden. Als ervan wordt uitgegaan dat dakgoten jaarlijks worden schoongemaakt, dan is de gemiddelde verblijftijd ca. 6 maanden. Omdat het waarschijnlijk is dat dakgoten juist na de herfst worden schoongemaakt, is dit waarschijnlijk een overschatting. Voor de microbiële afbraak is uitgegaan van de afbraaksnelheid in oppervlaktewater. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde (niet snelle en niet trage) afbraaksnelheid van ca. 0,5% per dag. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.

Bladeren uit groenvoorzieningen

Voor bladeren die uit groenvoorzieningen waaien, geldt hetzelfde als voor bladeren die direct op straat vallen (zie boven). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Geschatte emissie van zink uit bladeren op daken, verhard oppervlak en uit groenvoorzieningen ten gevolge van de afbraak van bladeren. De afbraak is gesplitst in initiële uitloging en microbiële afbraak.

Route	Scenario	Uitloging (ton blad/jr)	Afbraak (ton blad/jr)	Uitloging (ton Zn/jr)	Afbraak (ton Zn/jr)
Daken	Laag	16	84	0,0010	0,0055
	Middel	150	811	0,0098	0,053
	Hoog	673	3626	0,044	0,24
Verhard opp.	Laag	1164	0	0,076	0
	Middel	4467	0	0,29	0
	Hoog	9991	0	0,65	0
Groenvoorz.	Laag	8	0	0,00052	0
	Middel	766	0	0,050	0
	Hoog	34276	0	2,23	0

4.4 Totale zinkbelasting van rioolstelsels

Voor de emissie van zink uit bladeren naar rioolstelsels zijn drie routes van belang, die in paragraaf 4.1 beschreven zijn. In Tabel 9 is de zinkbelasting van het rioolstelsel samengevat. Het contact tussen regenwater en levende boombladeren

(hoofdstuk 3) is hier niet als emissieroute in opgenomen, omdat op basis van de huidige inzichten niet duidelijk is of deze route inderdaad netto emissies oplevert.

Tabel 9 Samenvatting van de belasting van rioolstelsels zink, uit de verschillende routes

Route	Onderdeel	Scenario "laag" (ton Zn/jr)	Scenario "middel" (ton Zn/jr)	Scenario "hoog" (ton Zn/jr)
<i>Bladval op daken in woon-gebied</i>	• Bladinval in riool	0,00010	0,0051	0,077
	• Uitloging uit bladeren	0,0010	0,0098	0,044
	• Afbraak van bladeren	0,0055	0,053	0,24
<i>Bladval op verhard oppervlak in woon-gebieden</i>	• Bladinval in riool	0,0076	0,15	1,1
	• Uitloging uit bladeren	0,076	0,29	0,65
	• Afbraak van bladeren	0	0	0
<i>Bladeren uit groenvoorzieningen in woon-gebieden</i>	• Bladinval in riool	0,000052	0,026	3,9
	• Uitloging uit bladeren	0,00052	0,050	2,23
	• Afbraak van bladeren	0	0	0
<i>Bedrijfs-terreinen</i>	• Bladinval in riool	0,0023	0,054	1,5
	• Uitloging uit bladeren	0,023	0,10	0,88
	• Afbraak van bladeren	0,0017	0,016	0,072
TOTAAL		0,12	0,76	11

5. Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In het onderhavige rapport is een schatting gemaakt van de emissie van zink uit bladeren naar het oppervlaktewater en naar rioolstelsels. Het doel van deze studie was om op basis van de beschikbare gegevens te kunnen beoordelen of deze termen van kwantitatief belang zijn voor de zinkbalans in Nederland, of niet. Door deze doelstelling zijn aannames en schattingen gemaakt daar waar geen gegevens beschikbaar waren. Dat betekent dat bij de interpretatie vooral naar de ordegrrootte van de schattingen moet worden gekeken.

Flux naar het oppervlaktewater

De emissie van zink naar het oppervlaktewater door directe inval van bladeren wordt geschat op 3.3 resp. 11 ton per jaar, uitgaande van het mediane resp. het gemiddelde zinkgehalte.

De belangrijkste onzekerheden in de schatting zijn:

- De extrapolatie van enkele gegevens over de inval van bladeren in beken en meren naar andere watertypen;
- De fractie van elk watertype (en vooral sloten) die beschaduwd is;
- De extrapolatie van bladval in gematigde loofbossen naar individuele bomen.

Het eerste aspect zou door een uitgebreide, internationale literatuurstudie deels ondervangen kunnen worden. De fractie beschaduwing zou mogelijk in overleg met waterschappen voor enkele representatieve beheersgebieden nader geschat kunnen worden.

Flux naar rioolstelsels

De totale belasting van rioolstelsels met zink uit bladeren is weergegeven in onderstaande tabel.

Route	Scenario "laag" (ton Zn/jr)	Scenario "middel" (ton Zn/jr)	Scenario "hoog" (ton Zn/jr)
<i>Bladval op daken in woongebieden</i>	0,0066	0,068	0,36
<i>Bladval op verhard oppervlak in woongebieden</i>	0,084	0,44	1,8
<i>Bladeren uit groenvoorzieningen in woongebieden</i>	0,0010	0,076	6,1
<i>Bedrijfs-terreinen</i>	0,027	0,17	2,5
TOTAAL	0,12	0,76	11

De belangrijkste onzekerheden in de schatting van de belasting van het rioolstelsel zijn:

- Percentage groen (bomen, struiken) van het verhard oppervlak;
- Rol van groenvoorzieningen in de belasting van het verhard oppervlak met bladeren;
- Hoeveelheid (percentage) bladeren die van straten of uit dakgoten verwijderd wordt;
- Hoeveelheid bladeren die op daken valt.

Relatief belang

De totale netto zinkbelasting van het oppervlaktewater was in 1995 ca. 458 ton per jaar (zie hoofdstuk 1). De berekende belasting (op basis van mediane zink-gehalten in bladeren) van oppervlaktewater (3,3 ton/jaar) en rioolstelsels (0,12 - 11 ton/jaar) is klein ten opzichte van de totale belasting (0,7% resp. 0,02 - 2,4%). Als wordt uitgegaan van gemiddelde zinkgehalten in bladmateriaal in plaats van mediane gehalten, dan is de bijdrage groter: De directe belasting van oppervlaktewater is dan 11 ton/jaar (2,4% van de totale belasting) en de belasting van rioolstelsels 0,09 - 8%.

Hoewel de bijdrage van zink uit bladeren aan de totale zinkbelasting van het Nederlandse oppervlaktewater in kwantitatief opzicht van beperkt belang is, blijkt uit een vergelijking van de belasting van verschillende watertypen met de “critical load” dat bladeren onder specifieke omstandigheden (kleine, geïsoleerde wateren zoals vennen) wel degelijk van belang kunnen zijn. Daarnaast bleek dat de verschillen in zinkaccumulatie tussen boomsoorten groot kunnen zijn, met name onder verontreinigde omstandigheden, waardoor de zinkbelasting van het oppervlaktewater onder bepaalde omstandigheden (wilgen of populieren op verontreinigde bodem) verhoogd kan zijn.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In deze studie is de bijdrage van zink in bladeren geschat door berekeningen te maken op basis van beschikbare literatuurgegevens en aannames. De belangrijkste verbetering van deze schatting is gelegen in het daadwerkelijk meten van parameterwaarden die in deze studie geschat zijn. Concrete mogelijkheden om de schatting te verbeteren zijn:

- De hoeveelheid bladeren die op straten, pleinen, parkeerplaatsen etcetera valt zou geschat kunnen worden uit de hoeveelheid bladeren die wordt opgeveegd. In samenwerking met de gemeentereinigingsdienst of een andere beheersdienst zou gericht gemeten kunnen worden of een schatting kunnen worden gemaakt.
- Op dezelfde wijze zou een schatting van de hoeveelheid blad op daken kunnen worden gemaakt door samen met een bedrijf dat dakgoten schoonmaakt te meten/ een schatting te doen.
- De hoeveelheid bladeren die in straatkolken terecht komt zou geschat kunnen worden door gedurende de herfst netten aan te brengen in een aantal

representatieve straatkolken, die wekelijks gecontroleerd moeten worden op ingevallen bladeren.

- Verder zou de uitloging uit bladeren en de afbraaksnelheid van bladeren eenvoudig gemeten kunnen worden door “leaf packs” of “litter bags” in dakgoten, goten en eventueel straatkolken uit te hangen.
- De hoeveelheid groen in de stad (zowel groenvoorzieningen als individuele bomen en laanbeplantingen) is moeilijk uit de literatuur te schatten. Mogelijk kunnen Remote Sensing technieken, in combinatie met GIS, worden ingezet om deze belangrijke parameter te kwantificeren.

6. Referenties

Aquasense (1995): Effecten op de waterkwaliteit van de Amsterdamse stadsboezem. Effecten van straatvuil, drijfvuil en bladval. In opdracht van: Riolerings- en Waterhuishouding Amsterdam. Rapport 95.0676.

Atteia O. & E. Dambrine (1993): Trace element dynamics in throughfall of 2 spruce forests with low pollution levels in Switzerland. *Annales des Sciences Forrestieres* 50(5):445-459.

Bakker D.J. & K.D. van den Hout (1993): De invloed van atmosferische depositie op de kwaliteit van bodem en oppervlaktewater in Nederland. Beschrijving rekenmethode en berekeningsresultaten. TNO-MW Rapport R93/200.

Berg M.P. (1997): Decomposition, nutrient flow and food web dynamics in a stratified pine forest soil. Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam. 310pp.

Bergkvist B., L. Folkesson & D. Berggren (1989): Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems. *Water, air, and soil pollution* 47:217-286.

Bockheim J.G. & J.E. Leide (1986): Litter and forest floor dynamics in a *Pinus resinosa* plantation in Wisconsin. *Plant and Soil* 96(3):393-406.

Bureau onderzoek en statistiek, Amsterdam (1999): Amsterdam in cijfers. Jaarboek 1998.

CBS (1999): Statistisch jaarboek 1999. Centraal Bureau voor de Statistiek.

Chamel A.R. & B. Gambonnet (1982): Study with isolated cuticles of the behaviour of zinc applied to leaves. *Journal of Plant Nutrition* 5(3):153-171.

CUWVO (1988): Ecologische normdoelstellingen voor Nederlandse oppervlaktewateren. Coördinatiecommissie uitvoering wet verontreiniging oppervlaktewateren.

Denneman W.D., J.H. Faber & H.J.P. Eijssackers (1986): Zware metalen en hun effecten op natuurwaarden; een case-study over de Brabantse Kempen. RIN-Rapport 86/10.

Dessel B. van (1988): Ecologische inventarisatie van het IJsselmeer. RIN-rapport 88/36.

Duvigneaud P. & S. Denaeys-De Smet (1973): Biological cycling of minerals in temperate deciduous forests.

In: D.E. Reichle (Ed.), Analysis of temperate forest ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp. 199-225.

Edwards C.A., D.E. Reichle & D.A. Gossley (1973): The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrients.

In: D.E. Reichle (Ed.), Analysis of temperate forest ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp147-172.

Eijsackers H. & A.J.B. Zehnder (1990): Litter decomposition: a Russian matriochka doll. Biogeochemistry 11(3):153-174.

Fiedler H.J. (1988): The zinc supply of Norway spruce ecosystems in forest dieback areas. Beitrage für die Forstwirtschaft 22(2):61-66.

Fortescue J.A.C. & G.G. Marten (1973): Micronutrients: forest ecology and systems analysis.

In: D.E. Reichle (Ed.), Analysis of temperate forest ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp. 174-198.

Gons H.J. (s.a.): De koolstofkringloop in drie Nederlandse meren.

Haskoning (1998): Strategie voor de aanpak van microverontreinigingen in communaal afvalwater. Deelrapport fase 2 - Inventarisatie van emissiebronnen. In opdracht van RIZA.

Hoeven N. van der & L. Henzen (1995): De effecten van zink op de groei van de plantensoort *Trifolium pratense* (onder laboratorium- en veldomstandigheden) op grond uit Panheel. TNO-MW Rapport R94/304.

Huwer S.L. & H.P. van Dokkum (1999): Decomposition of leaf litter in lacustrine ecosystems - a review. TNO Report R99/330.

Kay S.H., M.C.Th. Scholten & C.T. Bowmer (1988): Mobility of soil contaminants in an ecosystem of trees growing on dredged material - The Broekpolder (Rotterdam, The Netherlands). TNO-MT Report R88/488.

Laskowski R., M. Niklinska & M. Maryanski (1995): The dynamics of chemical elements in forest litter. Ecology 76(5):1393-1406.

Mahendrappa M.K. (1987): Tree species and urea treatment effects on sulphur and metals in throughfall and stemflow of some eastern Canadian forest stands. Canadian Journal of Forest Research 17(9):1035-1042.

Mengel K., H.J. Lutz & M.T. Breining (1987): Leaching of nutrients out of young intact spruce (*Picea abies*) by acid fog. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 150(2):61-68.

Min. LNV (1995): Ecosystemen in Nederland. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, directie Natuurbeheer.

Min. V&W (1997): Water kader. Vierde nota waterhuishouding. Regeringsvoornemen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

Olsen J.S. (1973): Carbon cycles and temperate woodlands. In: D.E. Reichle (Ed.), Analysis of temperate forest ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp. 226-241.

Opakunle J.S. (1991): The cycling of micro-nutrients (Fe, Cu and Zn) in a cacao agro-ecosystem. Tropical Ecology 32(2):223-230.

Petersen R.C. & K.W. Cummins (1974): Leaf processing in a woodland stream. Freshwater Biol. 4:343-368.

Petty W.H. & S.E. Lindberg (1990): An intensive 1-month investigation of trace metal deposition and throughfall at a mountain spruce forest. Water, Air and Soil Pollution 53:213-226.

Provincie Gelderland (1999): Zwemwater in Gelderland. Brochure afdeling Communicatie, Arnhem.

Rachwal L., L.O. de Temmerman & J.R. Istaş (1993): Differences in the accumulation of heavy metals in poplar clones of various susceptibility to air pollution. Arboretum Kornickie 37:101-111.

RIVM (1995): Achtergronden bij: Milieubalans 95. Samsom H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.

Satoo T. (1973): A synthesis of studies by the harvest method. In: D.E. Reichle (Ed.), Analysis of temperate forest ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp. 55-72.

Saunders G.W. (1976): Decomposition in freshwater. In: J.M. Anderson & A. Macfadyen (Eds.), The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Scherbatskoy T. & M.T. Tyree (1990): Kinetics of exchange of ions between artificial precipitation and maple leaf surface. New Phytology. 114:703-712.

Skrivan P., J. Rusek, D. Fottova, M. Burian & L. Minarik (1995): Factors affecting the content of heavy metals in bulk atmospheric precipitation, throughfall and stemflow in Central Bohemia, Czech Republic. *Water, Air and Soil Pollution* 85(2):841-846.

STOWA (1993): Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. Wetenschappelijke verantwoording van het beoordelingssysteem voor meren en plassen. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht. Rapport 93-17.

Tilborg W. van (1999): Zinc balance of the STP. Pers. comm.

Timperley M.H., R.R. Brooks & P.J. Peterson (1973): The distribution of nickel, copper, zinc and iron in tree leaves. *Journal of Experimental Botany* 24(82):889-895.

Ukonmaanaho L., M. Starr, J.-P. Hirvi, A. Kokko, P. Lahermo, J. Mannio, T. Paukola, T. Ruoho-airola & H. Tanskanen (1998): Heavy metal concentrations in various aqueous and biotic media in Finnish integrated monitoring catchments. *Boreal Environ. Res* 3:235-249.

Vries W. de & D.J. Bakker (1998): Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems. Guidelines for critical limits, calculation methods and input data. Report 166. DLO W. Staring Centrum/ TNO-MEP.

Wallace A., E.M. Romney, A.M. el Gazzar & A.H. Khadr (1979): Leaf absorption of metals deposited as dust on leaves. *Alexandria Journal of Agricultural Research* 27(1):87-92.

Webster J.R. & E.F. Benfield (1986): Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17:567-594.

Werff M. van der (1981): Ecotoxicity of heavy metals to aquatic and terrestrial higher plants. Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.

Zacharias-Langhans A. (1997): Untersuchungen zur Kupfer- und Zinkbelastung des Fallaubes Hamburger Straßenbäume. *Mitt. Inst. Allg. Bot. Hamburg* 27:157-169.

Zhang Q.L., P.H. Brown & Q.L. Zhang (1999): The mechanism of foliar absorption in pistache and walnut. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124(3):312-317.

Zimka J.R., A. Stachurski, A. Wasilewski, L. Grüm & H. Mochnacka-Lawacz (1981): The significance of species composition of forest stand in zinc transfer. *Pol. Ecol. Stud.* 7:137-144.

7. Authorisatie

Naam en adres van de opdrachtgever:

RWS-RIZA
Dhr. R. Teunissen
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Namen en functies van de projectmedewerkers:

ir. H.P. van Dokkum
drs. M. Bijl

Projectleider
Projectmedewerker

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

n.v.t.

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

juni 1999 - september 1999

Ondertekening:

H.P. van Dokkum
Projectleider
2 december 1999

Goedgekeurd door:

M.C.Th. Scholten
Afdelingshoofd
2 december 1999