# Cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag*

## 1. Inleiding

In de strijd tegen de verontreiniging van het milieu is het verrichten van onderzoek naar de bronnen van verontreiniging van essentieel belang.
Lange tijd is de industrie aangewezen als de hoofdschuldige aan de verontreiniging met zware metalen.
Als echter de industriële lozingen van zware metalen door verschillende saneringsmaatregelen, zoals uiteengezet in het Indicatief Meerjarenprogramma 1980 - 1984 [1], teruggebracht worden tot waarden, weergegeven in tabel I, dan zullen het huishoudelijk afvalwater en de neerslag binnen korte tijd deze rol van 'grootste vervuiler' overnemen.

IR. A. J. W. DE WAAL MALEFIJT
Duinwaterleiding van 's-Gravenhage

Uit tabel I blijkt, dat met name de lozingen van het metaal zink in belangrijke mate zullen worden teruggebracht.
Uit toxicologisch oogpunt bezien, dient echter opgemerkt te worden dat de vermindering van het metaal cadmium voor het milieu van een grotere betekenis kan zijn dan de beperking van de lozingen van zink.
Bij een vergelijking van de verschillende metalen moet dit aspect niet uit het oog verloren worden.

TABEL I - *Lozingen van enkele zware metalen door industrieën in tonnen per jaar* * *voor 1980 en een verwachting voor 1985* [1].

| Element | 1980 | 1985 |
|---|---|---|
| cadmium | 14,9 | 9,9 |
| chroom | 141,3 | 105,7 |
| koper | 70,6 | 42,5 |
| lood | 164,2 | 33,0 |
| nikkel | 33,7 | 31,1 |
| zink | 709,5 | 162,3 |

* exclusief lozingen op de gemeentelijke rioolstelsels van de Haagse agglomeratie en op die in het Rijnmondgebied.

Door middel van een literatuuronderzoek is getracht een bijdrage te leveren aan het opsporen van de bronnen van zware metalen in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag en deze, zo mogelijk, te kwantificeren.

* Deelstudie verricht in het kader van het afstuderen aan de Technische Hogeschool Delft bij de vakgroep Gezondheidstechniek onder begeleiding van prof. ir. A. C. J. Koot.

Deze hoeveelheden zware metalen worden vervolgens vergeleken met de vracht zware metalen, die voorkomt in het gemiddelde influent van enkele rioolwaterzuiveringsinrichtingen, die hoofdzakelijk huishoudelijk afvalwater en neerslag ontvangen.
Het onderzoek heeft zich beperkt tot de metalen cadmium (voorkomend op de zwarte lijst), chroom, koper, lood, nikkel en zink (grijze lijst-stoffen), aangezien deze in belangrijke mate in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag blijken voor te komen.

## 2. Bronnen

In dit onderzoek zijn verschillende bronnen van verontreiniging met zware metalen onderscheiden.
De hoeveelheid zware metalen afkomstig van elke bron afzonderlijk is uitgedrukt in een vracht in milligrammen per inwoner per jaar. Hierbij is uitgegaan van een totale bevolking van 14,2 miljoen mensen in Nederland [2].
Bij een sommatie van de verschillende zware metalen dient gewaarschuwd te worden voor verkeerde interpretatie van de gevonden waarden. Eén kilogram cadmium is, uit zuiver toxicologisch oogpunt bezien, niet vergelijkbaar met één kilogram zink.
In dit onderzoek naar de herkomst van de verschillende zware metalen kan een sommatie echter een indruk geven over de totale hoeveelheden zware metalen, die van de diverse bronnen afkomstig zijn.

### *De neerslag*

De verstedelijking en industrialisatie, alsmede de verkeersontwikkeling gedurende de laatste decennia, hebben geleid tot een toename van de luchtverontreiniging.
Door droge depositie, uitwassen (invangen van deeltjes onder de wolk), uitregenen (processen, die zich in de wolk of tijdens de wolkvorming afspelen) en chemische reacties kunnen de verontreinigingen uit de atmosfeer verwijderd worden [3; 4; 5].
Met name door het uitwassen en uitregenen kunnen meetbare concentraties aan zware metalen in de af te voeren neerslag voorkomen. Door literatuurgegevens voor deze concentraties op verschillende plaatsen in Nederland te verzamelen (het betreft hier uitsluitend de natte depositie) en hier een gemiddelde uit te berekenen (tabel II), kan een globale bijdrage opgesteld worden voor de hoeveelheid zware metalen in de af te voeren neerslag.
Hiervoor is het nodig een schatting te maken van de hoeveelheid neerslag, die per inwoner per jaar tot afstroming naar het rioolstelsel komt. Gesteld is dat het verhard oppervlak in Nederland gemideld 50 m² per inwoner is, waarvan 20 m² wegdek en 30 m² dakoppervlak [6; 7].
Van dit verharde oppervlak komt van de jaarlijkse gemiddelde hoeveelheid neerslag van 760 mm globaal 500 mm tot afstroming naar het rioolstelsel; ongeveer 260 mm neerslag komt niet tot afstroming (bevochtiging van het verharde oppervlak, berging van neerslag in ongelijkheden van het verharde oppervlak, verdamping) [7].
Hiervan uitgaande wordt aan neerslag afgevoerd via het verhard oppervlak 25 m³/(inw.a).

Met de af te voeren hoeveelheid neerslag van 25 m³/(inw.a) en de gemiddelde concentratie aan zware metalen in neerslag (tabel II) kan voor de eerste bron, de neerslag, een kwantitatieve benadering gegeven worden:

| | |
|---|---|
| cadmium | 40 mg/(inw.a) |
| chroom | 50 mg/(inw.a) |
| koper | 370 mg/(inw.a) |
| lood | 950 mg/(inw.a) |
| nikkel | 210 mg/(inw.a) |
| zink | 3400 mg/(inw.a) |

### *Het straatvuil*

Een belangrijke bijdrage aan de verontreiniging met zware metalen van de af te voeren neerslag wordt geleverd door het

TABEL II - *Concentraties aan zware metalen in de neerslag in Nederland in µg/l.*

| Literatuur | Plaats | Cd | Cr | Cu | Pb | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Nederland | – | – | 15,0 | – | – | – |
| 8; 9 | Epe | 0,7 | 0,8 | 6,9 | 9,5 | 7,0 | 190 |
| 8; 9 | Dordrecht | 1,3 | 2,0 | 13,0 | 27,0 | 7,0 | 130 |
| 8 | platteland Noord-Holland | 0,6 | – | 6,2 | 31,0 | – | 113 |
| 8 | woon & industrie Noord-Holland | 0,9 | – | 21,0 | 49,0 | – | 263 |
| 9 | Spijkenisse | 1,2 | 3,5 | 21,0 | 30,0 | 19,0 | 150 |
| 9 | Zierikzee | 0,6 | 2,0 | 14,0 | 23,0 | 4,0 | 150 |
| 9 | Middelburg | 0,6 | 1,9 | 19,0 | 57,0 | 5,0 | 80 |
| 10 | Eindhoven | 3,2 | – | 15,8 | 79,0 | – | 100 |
| 10 | Limburg | – | – | 15,1 | 61,1 | – | 122 |
| 10 | Nederland | – | – | 13,9 | 15,1 | – | 99 |
| 11 | Utrecht e.o. | 4,0 | 1,5 | – | – | – | 81 |
| gemiddelde | | 1,5 | 2,0 | 14,6 | 38,2 | 8,4 | 135 |

TABEL III - *Droge depositie (uitsluitend drogestofneerslag) van zware metalen in milligrammen per vierkante meter per jaar.*

| Literatuur | Plaats | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | algemeen | – | – | 0,73 | 5,84 | 6,2 |
| 12 | algemeen | 0,4 | 0,6 | 4,0 | 31,0 | 23,0 |
| 12 | Duitsland stad | 1,0 | 1,5 | 12,0 | 104,0 | 73,0 |
| 12 | Duitsland weg | 3,0 | – | 8,5 | 76,0 | 68,0 |
| 13 | woongebied | 0,48 | – | – | – | – |
| 13 | winkel/handel | 0,76 | – | – | – | – |
| 13 | industrie | 0,9 | – | – | – | – |
| 13 | industrie (Duitsland) | 13,5 | – | – | – | – |
| 13 | 2 km verderop | 2,77 | – | – | – | – |
| 13 | 12 km verderop | 1,3 | – | – | – | – |
| 14 | verontreinigd gebied | – | – | – | 20 | – |
| 14 | landelijk gebied | – | – | – | 20 | – |
| 14 | afgelegen gebied | – | – | – | 5 | – |
| 15 | 85 km van industriegebied | 1,1 | – | 4,6 | 98,0 | – |
| 16 | woongebied | 0,5 | – | – | – | – |
| 16 | winkel/handel | 0,8 | – | – | – | – |
| 16 | industrie | 0,9 | – | – | – | – |
| 17 | North Eastern U.S. | – | – | – | 32,9 | – |
| 17 | New Hampshire | – | – | – | 31,7 | 11,0 |
| 17 | Zuid Zweden | – | – | – | – | 40,0 |
| 17 | Zuid Finland | – | – | – | – | 13,5 |

vuil dat zich op de straten, daken, in goten en dergelijke verzamelt en dat samen met de af te voeren neerslag wordt afgevoerd naar het rioolstelsel.
Voor dit vuil zijn voornamelijk twee bronnen aanwijsbaar: de droge depositie uit de atmosfeer en het verkeer.

– *De droge depositie*

De droge depositie bestaat uit zeer kleine stofdeeltjes, die onder invloed van de zwaartekracht op het aardoppervlak neerdalen. Afhankelijk van de mate van luchtverontreiniging hebben zich in deze stofdeeltjes kleine hoeveelheden zware metalen opgehoopt. Met behulp van waarden uit de literatuur (tabel III) en de waarde voor de hoeveelheid verhard oppervlak per inwoner van 50 m² [10; 11], waarvan het vuil met de neerslag tot afstroming komt, wordt de totale globale belasting als gevolg van de droge depositie:

| | |
|---|---|
| cadmium | 40 mg/(inw.a) |
| chroom | 50 mg/(inw.a) |
| koper | 200 mg/(inw.a) |
| lood | 1000 mg/(inw.a) |
| zink | 1250 mg/(inw.a) |

Aangezien voor de Nederlandse situatie geen literatuurgegevens voor de droge depositie gevonden konden worden, is gebruik gemaakt van buitenlandse meetgegevens.
Door de afhankelijkheid van de mate van luchtverontreiniging en de meteorologische grootheden daar ter plaatse en door het feit, dat het buitenlandse meetwaarden zijn, kunnen deze waarden slechts dienen als een grove indicatie voor een mogelijke bijdrage van de bron, droge depositie.
Voor de bijdrage van nikkel ten gevolge van de droge depositie konden in het geheel geen waarden in de literatuur gevonden worden.

– *Het verkeer*

De tweede belangrijke bron van straatverontreiniging is het wegverkeer. Op verschillende manieren draagt het verkeer bij aan de verontreiniging met zware metalen, namelijk door:

- slijtage van de banden;
- druppelverliezen;
- uitlaatgassen;
- slijtage van de remvoeringen;
- slijtage van het wegdek.

Achtereenvolgens zal getracht worden deze bijdragen te kwantificeren.

• Slijtage van de banden

Het rubber dat gebruikt wordt voor de fabricage van autobanden bevat verscheidene zware metalen (tabel IV). Door slijtage van de banden, die het gevolg is van de wrijving tussen band en wegdek, blijft een hoeveelheid rubber op het wegdek achter.
Deze hoeveelheid kan geschat worden op 900 gram per band [18].
Uitgaande van het aantal motorvoertuigen in 1979 van 4.770.000 [2], met per voertuig vier banden, waarmee jaarlijks 14.205 kilometer gereden wordt [2], kan met een gemiddelde levensduur van 50.000 kilometer per band, het aantal versleten banden berekend worden op 5,4 miljoen banden.
Met de aanname dat 40 % van het jaarlijks kilometrage binnen de bebouwde kom verreden wordt [19], komt door deze slijtage per inwoner per jaar globaal 135 gram rubber van autobanden op de straat.

Met de neerslag kunnen dan op grond van de waarden van tabel IV de volgende hoeveelheden aan zware metalen naar het rioolstelsel worden afgevoerd:

| | |
|---|---|
| cadmium | 7 mg/(inw.a) |
| chroom | 25 mg/(inw.a) |
| koper | 35 mg/(inw.a) |
| lood | 150 mg/(inw.a) |
| nikkel | 25 mg/(inw.a) |
| zink | 85 mg/(inw.a) |

• De druppelverliezen

Elke auto verliest in meer of mindere mate bepaalde hoeveelheden olie, vet, antivries, benzine en dergelijke.
Deze verliezen worden samengevat onder de naam druppelverliezen. Hierin komen kleine hoeveelheden zware metalen voor, hetgeen blijkt uit tabel IV [12].
Alleen voor zink geldt, dat er sprake zou kunnen zijn van een niet te verwaarlozen bijdrage aan de verontreiniging.
Daar het echter moeilijk is deze druppelverliezen te kwantificeren, is in dit onderzoek afgezien van deze mogelijke verontreinigende bijdrage van het wegverkeer.

• De uitlaatgassen

Met name het metaal lood is in grote hoeveelheden afkomstig van de uitlaatgassen van personenauto's [20]. Er valt namelijk een opmerkelijk verschil te constateren tussen motoren, die dieselolie verbruiken en motoren, die benzine verbruiken (tabel IV).
Dit valt te verklaren met het feit, dat er tetra-ethyllood toegevoegd wordt aan benzine als anti-klopmiddel [12; 14; 21].
Hiermee wordt een voortijdige verbranding van het benzine-lucht mengsel voorkomen en het rendement verhoogd [12; 14; 21; 22].

Uitgaande van de in Nederland verkochte hoeveelheid benzine kan een schatting gemaakt worden van de loodverontreiniging door het wegverkeer. Volgens het CBS is

TABEL IV - *Concentraties aan zware metalen in µg/g in stoffen, die door of voor het wegverkeer worden gebruikt [12].*

| Eenheid µg/g | Cd | Cr | Cu | Pb | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| autobanden-rubber | 50 | 182 | 247 | 1110 | 174 | 617 |
| motorolie | 0 | 0 | 3 | 9 | 17 | 1060 |
| versnellings-bakolie | 0 | 0 | 0 | 8 | 21 | 244 |
| antivries | 0 | 0 | 76 | 6 | 16 | 14 |
| remvloeistof | 0 | 19 | 5 | 7 | 31 | 15 |
| tectyl | 0 | 0 | 0 | 116 | 476 | 108 |
| vet | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 164 |
| dieselolie | 0 | 15 | 8 | 12 | 8 | 12 |
| benzine | 0 | 15 | 4 | 663 | 10 | 10 |
| remvoering | 0 | 2200 | 30600 | 1050 | 7454 | 124 |
| asfalt | 0 | 357 | 51 | 102 | 1170 | 164 |
| beton | 1 | 93 | 99 | 450 | 264 | 417 |

in Nederland in 1980 3903 . $10^6$ kg benzine afgeleverd op de binnenlandse markt, overeenstemmende met 5135 . $10^6$ liter [2]. Uit het Indicatief Meerjarenprogramma 1976 - 1980 ter bestrijding van de luchtverontreiniging blijkt, dat het loodgehalte in benzine sinds 1 januari 1980 beperkt moet zijn tot maximaal 0,4 gram lood per liter benzine [23]. Het gewogen jaargemiddelde voor 1979 voor de hoeveelheid lood in motorbenzine bedroeg 0,36 gram lood per liter [2]. De totale hoeveelheid lood in de in Nederland verbruikte benzine zou dan in 1979 1850 . $10^6$ gram bedragen hebben.
Van deze hoeveelheid is ongeveer 30 % vastgehouden in de motor en het uitlaatsysteem van de auto, is 40 % geëmitteerd in de atmosfeer als kleine stofdeeltjes en is 30 % neergeslagen op de rijbaan en de directe omgeving [12; 21; 22; 24].
Voor 1979 bedroeg deze laatste hoeveelheid 555 . $10^6$ gram.
Zoals vermeld, wordt globaal 40 % van het jaarlijkse kilometrage afgelegd binnen de bebouwde kom. De loodbelasting van de straten en de nabije omgeving binnen de bebouwde kom kan zo geschat worden op 222 . $10^6$ gram.
Wordt verondersteld, dat de waarde van de afvloeiingscoëfficiënt voor de straten en de nabije omgeving binnen de bebouwde kom 0,6 bedraagt, dan komt ongeveer 133 . $10^6$ gram lood tot afstroming naar het rioolstelsel. Per inwoner kan deze bijdrage van lood berekend worden op 9370 milligram per inwoner per jaar.

Een tweede methode van berekening gaat uit van de door Brunner berekende afzetting op straten en directe omgeving [18]. Voor lood stelde hij deze hoeveelheid op 7,87 . $10^{-3}$ gram per as per kilometer. In 1979 waren er in Nederland 4.312.000 personenauto's [2], waarvan 2 % uitgerust was met een dieselmotor en 3 % met een LPG-motor [20]. De 4.096.400 personenauto's met een benzinemotor hadden een gemiddeld jaarkilometrage van 14.205 kilometer [2].
Er weer van uitgaande dat hiervan 40 % binnen de bebouwde kom is afgelegd, kan de loodbelasting van de straten en de directe omgeving berekend worden op 183 . $10^6$ gram.
Met dezelfde waarde voor de afvloeiingscoëfficiënt als hiervoor, namelijk 0,6 komt de loodbelasting op 7740 milligram per inwoner per jaar.

In dit onderzoek wordt de bijdrage van de uitlaatgassen aan de loodverontreiniging gesteld op het gemiddelde van de twee berekende waarden, te weten 8600 milligram per inwoner per jaar.

TABEL V - *Verdeling in procenten van wegdekverhardingen binnen de bebouwde kom in enkele gemeenten in Nederland.*

| Literatuur | Gemeente | Asfalt | Steen en andere |
|---|---|---|---|
| 25 | Den Haag | 33 % | 67 % |
| 26 | Oosterwolde | 5 % | 95 % |
| 27 | Driebergen | 23 % | 77 % |
| 28 | Waalwijk | 6 % | 94 % |
| 29 | Rhenen | 50 % | 50 % |
| 30 | Alphen a/d Rijn | 27 % | 73 % |
| 31 | Amsterdam | 47 % | 53 % |

Van de overige zware metalen, die in de brandstof aanwezig zijn, komen slechts zeer geringe hoeveelheden met de uitlaatgassen op de rijbaan en omgeving. Deze worden hier verder verwaarloosd.

- De slijtage van de remvoeringen

Bij de slijtage van remvoeringen gaat het om overwegend anorganisch materiaal, dat niet geringe hoeveelheden zware metalen bevat, zoals uit tabel IV blijkt. Vooral het aandeel van koper is groot, daar dit metaal in de remvoeringen verwerkt wordt om een zekere hittebestendigheid te verkrijgen [12]. Dat deze slijtage tot een zekere mate van koper- en ook nikkelverontreiniging van de af te voeren neerslag kan leiden, lijkt duidelijk, maar gegevens ontbreken om deze hoeveelheden te kwantificeren.

- De slijtage van het wegdek

Voor druk bereden wegen blijkt de slijtage van een wegdek van asfalt ter plaatse van de sporen 1 millimeter per jaar te bedragen [18]. Door deze slijtage ontstaat er een slijpsel dat met de neerslag wordt afgevoerd.
In Nederland worden voor de bestrating van wegen binnen de bebouwde kom voornamelijk steenbestratingen toegepast (tabel V).
Deze zijn van weinig belang voor de verontreiniging met zware metalen. Dit in tegenstelling tot asfalt, dat, zoals blijkt uit tabel IV, aanzienlijke hoeveelheden zware metalen bevat.
Wordt op grond van tabel V de asfaltbestrating in een doorsnee gemeente geschat op circa 25 % van de totale aanwezige hoeveelheid wegverharding binnen de bebouwde kom, dan kan een benadering gegeven worden voor de bijdrage aan de verontreiniging met zware metalen. Volgens het CBS is er binnen de bebouwde kommen in Nederland 39303 kilometer verharde weg [2] met een gemiddelde breedte van 6.40 m [32]. De hoeveelheid asfalt binnen de bebouwde kom kan zo berekend worden op gemiddeld 4,4 $m^2$/inwoner.
Ervan uitgaande dat van dit oppervlak 40 % intensief bereden wordt, de slijtage 1 mm per jaar is en het volume gewicht van asfalt 2500 kg/$m^3$ bedraagt, is de hoeveelheid afgesleten asfalt 4,4 kilogram per inwoner per jaar. De hoeveelheid zware metalen in dit slijpsel kan aan de hand van tabel IV berekend worden op:

| | |
|---|---|
| cadmium | — mg/(inw.a) |
| chroom | 1570 mg/(inw.a) |
| koper | 225 mg/(inw.a) |
| lood | 450 mg/(inw.a) |
| nikkel | 5150 mg/(inw.a) |
| zink | 720 mg/(inw.a) |

Met de hiervoor afgeleide en berekende waarden kan een schatting gemaakt worden van de hoeveelheid zware metalen in het straatvuil dat afkomstig is van het wegverkeer (tabel VI).

TABEL VI - *Bijdrage verontreiniging zware metalen door het wegverkeer in milligrammen per inwoner per jaar.*

| Eenheid mg/(inw.a) | Cd | Cr | Cu | Pb | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| slijtage banden | 7 | 25 | 35 | 150 | 25 | 85 |
| druppelverliezen | — | — | — | — | — | p.m |
| uitlaatgassen | — | — | — | 8600 | — | — |
| slijtage remvoeringen | — | — | p.m | — | p.m | — |
| slijtage wegdek | — | 1570 | 225 | 450 | 5150 | 720 |
| Totaal | 7 | 1595 | 260 | 9200 | 5175 | 805 |

*Het leidingwater*

Het leidingwater levert ook een bijdrage aan de verontreiniging met zware metalen. Onder leidingwater wordt hier verstaan het water, zoals dat door de drinkwaterbedrijven bij de pompstations wordt afgeleverd.
Uit de waarden van verschillende onder-

TABEL VII - *Concentraties zware metalen in µg/l in het reinwater af pompstation.*

| Literatuur | | Cd | Cr | Cu | Pb | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 33 | gemiddeld | < 0,1 | < 1 | 1– 30 | < 1 | < 1 | 5– 50 |
| | range | < 0,1–0,7 | < 1–4 | < 1–103 | < 1–14 | < 1– 9 | < 5–500 |
| 34 | gemiddeld | < 0,1 | < 5 | – | < 2 | < 5 | < 2 |
| | range | < 0,1–0,3 | < 5 | < 5–420 | < 2 | < 5 | < 2 |
| 35 | gemiddeld | – | – | | – | – | – |
| | range | < 0,1–0,3 | ≤ 1 | < 1– 9 | < 1– 5 | 1– 6 | 5– 55 |
| 36 | gemiddeld | < 0,5 | < 0,5 | 2 | < 3 | 3 | 22 |
| | range | < 0,5–1,3 | < 0,5–1,3 | < 1– 19 | < 3– 6 | < 1–11 | < 1– 62 |
| gemiddelde | | 0,1 | 1 | 5 | 1 | 2 | 25 |

zoekingen, die op dit gebied verricht zijn, is voor dit onderzoek een schatting gemaakt voor een redelijk aanneembare gemiddelde concentratie in het leidingwater af pompstation (tabel VII).
Uit tabel VII blijkt, dat met name de koperconcentraties in leidingwater in sommige gevallen hoge waarden bereiken.
Dit wordt doorgaans veroorzaakt doordat het monster bij het pompstation uit een koperen leiding genomen is, zonder de leiding eerst grondig door te spoelen.
De invloed van het leidingmateriaal wordt uitvoeriger behandeld onder het punt corrosie.
Schattingen voor de hoeveelheid leidingwater, die in Nederland per inwoner per dag verbruikt wordt, lopen uiteen van 130 - 140 liter per inwoner per dag [8; 36; 37; 38].
Wordt voor dit onderzoek dit verbruik op 135 l/(inw . d) gesteld en aangenomen dat hiervan 25 liter verloren gaat aan lekverliezen, tuin sproeien, recreatie en dergelijke dan betekent dat, dat er 110 liter per inwoner per dag op het rioolstelsel geloosd wordt (40 $m^3$/(inw . a)).
De bijdrage aan zware metalen van het leidingwater kan aan de hand van tabel VII op jaarbasis berekend worden op:

| | |
|---|---|
| cadmium | 5 mg/(inw . a) |
| chroom | 40 mg/(inw . a) |
| koper | 200 mg/(inw . a) |
| lood | 40 mg/(inw . a) |
| nikkel | 80 mg/(inw . a) |
| zink | 1000 mg/(inw . a) |

*De faeces en urine*

Een niet te verwaarlozen bijdrage aan de verontreiniging van het rioolwater met zware metalen wordt geleverd door de faeces en urine van de mens.
De dagelijkse hoeveelheid, die door de mens via het inhaleren van de lucht, het eten van voedsel en het drinken van water wordt opgenomen, wordt voor een groot gedeelte weer uitgescheiden. Bij sommige metalen blijkt hiervoor een goed functionerend regulatiesysteem te bestaan, terwijl andere metalen niet of nauwelijks door het lichaam gereguleerd worden.
In tabel VIII wordt voor de zes verschillende elementen een schatting gegeven voor de gemiddelde dagelijkse inname per inwoner. Er is hierbij uitgegaan van een persoon, die een normaal voedings- en leefpatroon heeft.
Aangezien de elementen chroom, koper en zink van belang zijn voor sommige lichaamsfuncties worden deze voor een gedeelte door het lichaam geabsorbeerd en later weer uitgescheiden. Blijvende opslag in het lichaam vindt niet plaats, zodat aangenomen kan worden, dat het grootste gedeelte van de ingenomen hoeveelheden met de faeces en urine op het rioolstelsel geloosd wordt.
Van nikkel is bekend dat het grootste gedeelte van de ingenomen hoeveelheid onmiddellijk wordt uitgescheiden met de faeces of later, in kleinere gedeelten, met urine en zweet [39].
Opslag in het lichaam vindt nauwelijks plaats, dit in tegenstelling tot de metalen lood en cadmium.
Voor cadmium geldt, dat dit metaal krachtige interacties met andere twee-waardige metalen kan vormen, met name in de lever en de nieren [13].
Op deze wijze kan 0,5 - 5 % [13; 16; 40; 41; 42] van de ingenomen hoeveelheid cadmium in het lichaam achterblijven.
Het rioolstelsel wordt dan met minimaal 95 % van de totaal door de mens ingenomen hoeveelheid belast.
Voor lood blijkt deze opslag in het lichaam 5 - 10 % van de ingenomen hoeveelheid te zijn en met name plaats te vinden in de beenderen [39; 43].
De belasting van het rioolstelsel met lood kan dientengevolge gesteld worden op 90 % van de ingenomen hoeveelheid.

TABEL VIII - *Opname van verschillende zware metalen met het voedsel in microgrammen per persoon per dag.*

| Element | Literatuur | Range µg/dag | Schatting gemiddelde dagelijkse inname µg/dag |
|---|---|---|---|
| cadmium | 13; 16; 21; 39; 41; 42; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; | 5 – 190 | 50 |
| chroom | 39; 46; 48; 51; | 5 – 400 | 70 |
| koper | 39; 41; 46; 48; 51; | 2000 – 5000 | 2500 |
| lood | 39; 41; 43; 44; 46; 47; 48; 50; 52; | 100 – 400 | 200 |
| nikkel | 39; 46; 48; | 300 – 600 | 350 |
| zink | 39; 41; 46; 47; 48; 50; 51; 53; | 8000 – 18000 | 12000 |

Samengevat kan de belasting van het rioolstelsel met zware metalen uit faeces en urine, gezien de bovenstaande opmerkingen, geschat worden op:

| | |
|---|---|
| cadmium | 20 mg/(inw . a) |
| chroom | 25 mg/(inw . a) |
| koper | 910 mg/(inw . a) |
| lood | 65 mg/(inw . a) |
| nikkel | 125 mg/(inw . a) |
| zink | 4380 mg/(inw . a) |

*De corrosie*

Door corrosie kunnen metalen in oplossing gaan en met het water getransporteerd worden.
Hierbij zijn twee vormen van corrosie te onderscheiden, de corrosie van leidingmateriaal en de corrosie van aan de atmosfeer blootgestelde materialen.

– *De corrosie van leidingmateriaal*

In tabel IX wordt de verdeling van het leidingmateriaal van de binneninstallaties in Nederland weergegeven [21; 54; 55].
Hieruit blijkt dat bij 21 % van de aansluitingen nog in de één of andere vorm lood wordt toegepast.

TABEL IX - *Verdeling leidingmateriaal van de binneninstallaties in Nederland.*

| Leidingmateriaal | Percentage van het totaal aantal aansluitingen |
|---|---|
| lood | 11 % |
| koper | 75 % |
| lood en koper | 10 % |
| gegalvaniseerd ijzer | 1 % |
| pvc/polyethyleen | 3 % |

Door corrosie kunnen met name bepaalde hoeveelheden cadmium (uit sommige hardsolderen [56]), koper, lood en zink aan het water worden afgegeven.
Uit verschillende onderzoekingen blijkt deze corrosie in belangrijke mate afhankelijk te zijn van de volgende drie factoren:

o De verblijftijd in de leiding

Het oplossend vermogen blijkt afhankelijk te zijn van de verblijftijd van het water in de leiding.
In het 'eerste monster', dat 's morgens na een nacht stilstand in de leiding genomen wordt, blijkt aanzienlijk meer metaal voor te komen dan in monsters, die gedurende de dag genomen worden [55; 56; 57; 58].
Een éénduidig verband is echter moeilijk te leggen, omdat ook andere factoren het oplossend vermogen beïnvloeden.

o De pH

Ter bestrijding van de corrosie is een pH van 8 - 9 te prefereren.
Aangezien het meeste gedistribueerde water een evenwichts pH heeft, die lager ligt, zal bij het opvolgen van deze richtlijn het water sterk kalk afzettend worden, zodat een gedeeltelijke ontharding onvermijdelijk wordt [59].

o De hardheid

Statistisch gezien gaat de hardheid van water gepaard met goede bufferende eigenschappen, zodat hard water in het algemeen minder corrosieve eigenschappen zal hebben dan zacht water [35]. Dit betekent dat

verwacht kan worden, dat het water uit de kraan in gebieden met zacht water hogere gehalten aan zware metalen zal bevatten dan het water in gebieden met hard water. In de literatuur bestaat hier echter weinig éénduidigheid over [35; 60; 61].

Uitgaande van de verschillende onderzoekingen [8; 33; 54; 55; 56; 57; 60] is getracht een globale schatting te maken voor deze bijdrage aan de verontreiniging met zware metalen.
De waarden zijn gebaseerd op een watergebruik van 40 $m^3$/(inw . a) zoals reeds eerder vermeld is en op een basisconcentratie voor het gedistribueerde water af pompstation, zoals weergegeven in tabel VII.
De schatting voor de verschillende metalen bedraagt:

| | |
|---|---|
| cadmium | 20 mg/(inw . a) |
| koper | 6090 mg/(inw . a) |
| lood | 1070 mg/(inw . a) |
| zink | 3470 mg/(inw . a) |

*– De corrosie van aan de atmosfeer blootgestelde materialen*

Met name de thermisch verzinkte materialen, die op grote schaal worden toegepast (balustrades, vangrails, lantaarnpalen, goten en pijpen) kunnen een bijdrage leveren aan de zinkverontreiniging.
Een schatting voor de in Nederland toegepaste totale hoeveelheid thermisch verzinkt materiaal, die aan de atmosfeer is blootgesteld, bedraagt 0,5 vierkante meter per inwoner [8]. Met een eveneens geschatte gemiddelde corrosiesnelheid van 27 g/($m^2$ . a) [62; 63; 64] is de belasting aan zink te berekenen. Deze bedraagt 13500 mg/(inw . a).
Daar praktisch alle zinksoorten verontreinigd zijn met een bepaalde hoeveelheid cadmium (0,2 % [42]) wordt het rioolstelsel nog extra belast met een hoeveelheid cadmium van globaal 30 mg/(inw . a).

*De overige bronnen*

Naast de hierboven genoemde en geschatte bijdragen bestaan nog enkele moeilijk te kwantificeren bronnen van zware metalen in huishoudelijk afvalwater en af te voeren neerslag.
Enkele voorbeelden worden hier nog genoemd.
Het wegenzout, dat voor de gladheidsbestrijding gebruikt wordt, is in zeer beperkte mate verontreinigd met koper [8].
Door deze gladheidsbestrijding, maar meer nog door het vochtige klimaat kan de corrosie van auto's bijdragen aan de zware metalenverontreiniging [12; 65].
Het huishoudelijk afvalwater kan extra belast worden met zware metalen door het gebruik van pannen, bestek en dergelijke, maar ook van chemicaliën in de huishouding.

*Totaal*

Door de gevonden waarden voor de verschillende bronnen samen te vatten en te sommeren, kan een indruk verkregen worden van de totaal vracht aan zware metalen, uitgedrukt in milligrammen per inwoner per jaar, in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag.
Bij het lozen van water op een gemengd rioolstelsel dragen elk van de genoemde bronnen voor een deel bij aan de verontreiniging met zware metalen.
Bij een gescheiden rioolstelsel zullen de verontreinigingen afkomstig van de neerslag, het straatvuil en de atmosferische corrosie afgevoerd worden naar de regenwaterriolen.
Daarentegen zullen de bijdragen van het leidingwater, de faeces en urine en de corrosie van leidingmateriaal tot afstroming komen naar de vuilwaterriolen.
Eén en ander is samengevat in tabel X.

De verontreiniging met zware metalen bedraagt dan, uitgaande van de bronnen en met verwaarlozing van eventuele industriële bijdragen:

| | |
|---|---|
| lozing op regenwaterriolen (gescheiden rioolstelsel) | 38130 mg/(inw . a) |
| lozing op vuilwaterriolen (gescheiden rioolstelsel) | 17540 mg/(inw . a) |
| lozing op straatriolen (gemengd rioolstelsel) | 55670 mg/(inw . a) |

TABEL XI - *Vracht zware metalen in het influent van enkele rwzi's in mg/(inw. a) afkomstig van gemengde rioolstelsels.*

| Gemengd rioolstelsel | Gemiddelde vracht in mg/(inw. a) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cd | Cr | Cu | Pb | Ni | Zn | totaal |
| Wolvega | 160 | 1170 | 9170 | 3900 | 720 | 36660 | 51780 |
| Amersfoort | 310 | 2540 | 6700 | 5920 | 2990 | 28670 | 47130 |
| Regge + Dinkel | 100 | 1260 | 10690 | 7030 | 850 | 28590 | 48000 |
| Oost-Brabant '76 | — | — | — | — | — | — | 73000 |
| Oost-Brabant | 370 | 3290 | 10220 | 8030 | 1830 | 55850 | 79570 |
| Oost-Brabant '78 | — | — | 15000 | 7000 | — | 33000 | 55000 |
| Asten, Hapert, Hilvarenbeek, Schijndel, St. Oedenrode 1978 + 1979 | 180 | 1560 | 9300 | 6960 | 2340 | 28210 | 48540 |
| Oisterwijk '78 | 210 | 4880 | 9750 | 4880 | 2090 | 27160 | 48960 |
| Oisterwijk '79 | — | 3750 | 10500 | 6000 | 6000 | 31480 | 57725 |
| gemiddeld | 220 | 2640 | 10170 | 6220 | 2400 | 33700 | 55350 |

TABEL X - *Totale bijdrage in mg/(inw. a) van de verschillende bronnen aan de verontreiniging met zware metalen.*

| Bijdrage | Cd | Cr | Cu | Pb | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| neerslag | 40 | 50 | 370 | 950 | 210 | 3400 |
| straatvuil: droge depositie | 40 | 50 | 200 | 1000 | — | 1250 |
| verkeer | 5 | 1595 | 260 | 9200 | 5175 | 805 |
| corrosie (atmosferisch) | 30 | — | — | — | — | 13500 |
| Subtotaal regenwaterriolen | 115 | 1695 | 830 | 11150 | 5385 | 18955 |
| leidingwater | 5 | 40 | 200 | 40 | 80 | 1000 |
| faeces en urine | 20 | 25 | 910 | 65 | 125 | 4380 |
| corrosie (leidingen) | 20 | — | 6090 | 1070 | — | 3470 |
| Subtotaal vuilwaterriolen | 45 | 65 | 7200 | 1175 | 205 | 8850 |
| Totaal straatriolen | 160 | 1760 | 8030 | 12325 | 5590 | 27805 |

## 3. Zware metalen in rioolwater

Om een vergelijking mogelijk te maken van de vracht zware metalen, die voorkomt in het rioolwater, dat een rioolwaterzuiveringsinrichting binnenkomt met de hiervoor onder 2. gekwantificeerde vracht, waarbij uitgegaan is van de bron, is met waarden uit de literatuur getracht een schatting te geven van de gemiddelde concentraties zware metalen, die in het influent van een rwzi aangetroffen worden.
Daar bij het kwantificeren van de bronnen afgezien is van de bijdragen van de industrie aan de verontreiniging met deze metalen moeten ook nu alleen die rwzi's in de beschouwing betrokken worden, die in hoofdzaak huishoudelijk afvalwater en neerslag afvoeren ontvangen.
Met behulp van gegevens van het RIZA en van de Technologische Dienst Oost-Brabant [67; 68; 69; 70] over de concentraties zware metalen in het influent van enkele rwzi's kan, uitgaande van een hoeveelheid af te voeren neerslag van 25 $m^3$/(inw . a) en een hoeveelheid huishoudelijk afvalwater van 40 $m^3$/(inw . a)

een vracht aan zware metalen geschat worden.
Deze waarden zijn weergegeven in tabel XI.

## 4. Discussie en conclusies

Bij een vergelijking van de uit de bronnen afgeleide totale vracht aan de zware metalen cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink in huishoudelijk afvalwater en af te voeren neerslag uitgedrukt in milligrammen per inwoner per jaar (~ 55500 mg/(inw.a)) blijkt deze overeen te stemmen met de gemiddelde totale vracht (~ 55500 mg/(inw.a)), die in het influent van een gemiddelde rioolwaterzuiveringsinrichting wordt aangetroffen.

Bij een vergelijking per metaal vallen er enkele aanzienlijke verschillen te constateren. Voor cadmium geldt, dat de waarden redelijk overeenstemmen. Gezien de relatief kleine hoeveelheid ontstaat een verschil tussen de bij de bron berekende waarden en de in het influent van een rwzi aangetroffen hoeveelheid reeds snel. Een reden voor het verschil moet waarschijnlijk gezocht worden bij de bronnen van de zinkverontreiniging, daar dit metaal in de meeste gevallen in geringe mate verontreinigd is met zeer kleine hoeveelheden cadmium.

Een groot verschil tussen bron en influent treedt op bij de metalen chroom en koper. Van deze metalen is met een benadering via de bron een kleinere hoeveelheid berekend dan in het influent wordt aangetroffen.
Voor chroom kan een mogelijke verklaring voor dit feit gevonden worden in het gebrek aan gegevens over de bijdrage van het gebruik van keukenapparatuur aan de chroomverontreiniging.
De hoeveelheid koper, die bij de bronbenadering niet gekwantificeerd kon worden, is mogelijk toch afkomstig van corrosie van leidingmateriaal door het leidingwater.

In dit onderzoek is namelijk uitgegaan van een gemiddelde samenstelling van dit leidingwater, maar de agressiviteit van het leidingwater in Nederland varieert.
Voor lood en nikkel geldt, in tegenstelling tot chroom en koper, dat er meer metaal bij de bronbenadering is bepaald dan in het influent wordt aangetroffen.
De belangrijkste bron voor beide metalen blijkt het straatvuil te zijn.
Voor lood wordt dit veroorzaakt door het loodgehalte in de benzine en voor nikkel door de slijtage van asfalt.
Aangezien het straatvuil bij neerslag van enige duur naar het rioolstelsel afgevoerd wordt, bestaat de mogelijkheid dat, met name bij langdurige en/of zware neerslag een groot gedeelte van het straatvuil via overstorten naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd.
Deze verontreiniging van lood en nikkel komt dan niet in het influent van een rwzi voor, maar is een directe belasting voor het oppervlaktewater.
Juist met het oog op deze verontreiniging kan er reden zijn over te gaan tot een beperking van het toepassen van gescheiden rioolstelsels.
De belangrijke bijdragen van de neerslag en het straatvuil in de verontreiniging met zware metalen worden in dat geval zonder enige vorm van zuivering afgevoerd naar het oppervlaktewater. Als laatste kan een vergelijking gemaakt worden tussen de bij de bron bepaalde hoeveelheid zink en de hoeveelheid, die in het influent van een rwzi aangetroffen wordt.
Er blijkt sprake te zijn van een verschil, dat waarschijnlijk gezocht moet worden bij die bron, die voor het grootste gedeelte bijdraagt aan de zinkverontreiniging, te weten de corrosie van aan de atmosfeer blootgestelde materialen.
In dit onderzoek is gewerkt met schattingen en benaderingen. Aangezien deze atmosferische corrosie sterk afhankelijk is van de in een bepaald gebied heersende mate van luchtverontreiniging enerzijds en de toegepaste hoeveelheid zink anderzijds (nieuwbouw: meer kunststof goten en pijpen, oude wijken: meer zink) kunnen verschillen optreden.
Uit het vorenstaande blijkt dat het straatvuil en de corrosie de belangrijkste bronnen voor de verontreiniging met zware metalen van huishoudelijk afvalwater en af te voeren neerslag zijn. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de bestrijding van deze verontreiniging zich met name dient te richten op de af te voeren neerslag.
Ook bij de keuze van een toe te passen rioolstelsel (al dan niet verbeterd gescheiden of gemengd rioolstelsel) kan dit aspect in de beschouwingen worden meegenomen.

Mogelijke maatregelen, die getroffen kunnen worden om de verontreiniging met zware metalen van af te voeren neerslag en huishoudelijk afvalwater terug te dringen zijn:

— het bevorderen van kunststof als materiaal voor verschillende transportsystemen,

— het terugbrengen van het loodgehalte in benzine,

— het verwijderen van het straatvuil, voordat dit in het rioolstelsel terechtkomt (extra veegauto's).

De eerste twee maatregelen verdienen de nodige aandacht en zijn op redelijke termijn te treffen.
De laatste maatregel verplaatst het probleem (verwerking vaste afvalstoffen) en stuit mogelijk op financiële bezwaren ten aanzien van personele en materiële kosten.

TABEL XII - *Vergelijking totaal vracht zware metalen in mg/(inw.a) in huishoudelijk afvalwater en af te voeren neerslag met de vracht afkomstig van industriële lozingen.*

| Eenheid mg/(inw.a) | Huishoudelijk afvalwater en neerslag (dit onderzoek) | Industrie 1980 [literatuur 1] | Industrie 1985 [literatuur 1] |
|---|---|---|---|
| cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink | ~ 55500 | ~ 80000 | ~ 27000 |

Tot slot kunnen de gevonden waarden nog vergeleken worden met de hoeveelheden zware metalen, die in 1980 door de industrie geloosd werden.
De waarden uit tabel I dienen hiertoe gesommeerd te worden en gedeeld te worden door een inwonertal van 14,2 miljoen mensen. Hierdoor ontstaat een globale vracht aan zware metalen, afkomstig van de industrie, uitgedrukt in milligrammen per inwoner per jaar (tabel XII).
Uit deze tabel blijkt, dat aan de verontreiniging met zware metalen door de industrie momenteel een grotere bijdrage geleverd wordt dan door huishoudelijk afvalwater en neerslag.
Indien echter de lozingen van de industrie door verschillende saneringsmaatregelen teruggebracht worden tot de beoogde waarden van 1985 dan is, wanneer verondersteld wordt dat de bijdrage van het huishoudelijke afvalwater en de af te voeren neerslag niet verandert, de bijdrage van huishoudelijk afvalwater en neerslag ongeveer tweemaal zo hoog als de industriële bijdrage aan de verontreiniging met zware metalen.
Wordt verondersteld dat de bijdragen van de neerslag en de droge depositie in de verontreiniging met zware metalen hoofdzakelijk afkomstig zijn van de industrie (via luchtverontreiniging) dan resteert er van de via de bronnen berekende waarde een bijdrage voor het huishoudelijk afvalwater van 48000 mg/(inw.a).
Ook deze waarde is bijna tweemaal zo hoog als de te verwachten industriële bijdrage in 1985.
Te concluderen valt dat het van groot belang is om, tegelijk met de industriële sanering, maatregelen te treffen om de bijdragen aan de verontreiniging met zware metalen van huishoudelijk afvalwater en af te voeren neerslag terug te dringen.

**Dank**

De auteur spreekt zijn dank uit voor de hulp ontvangen van prof. Koot bij het opstellen van deze publicatie.

**Literatuur**

1. *De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater.* Indicatief Meerjarenprogramma 1980 - 1984. Den Haag, 1980.

2. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Statistisch zakboek 1981.* 's-Gravenhage, Staatsuitgeverij, 1981.

3. Booy, C. G., e.a. *Luchtverontreiniging door continue puntbronnen.* Den Haag, 1980.

4. *Luchtverontreiniging en weer,* KNMI De Bilt. Staatsuitgeverij Den Haag, 1979.

5. Smeenk, J. G. en Vermeulen, A. J. *Onderzoek naar de regenwaterkwaliteit, ook van belang voor de drinkwatervoorziening.* $H_2O$ (12) 1979, nr. 6.

6. Groen, L. en Stellema, J. *Kopergehalten in rioolwaterzuiveringsslib.* $H_2O$ (14) 1981, nr. 23.

7. Koot, A. C. J. *Inzameling en transport van rioolwater.* Waltman Delft, 1977.

8. RIZA. *Onderzoek naar de aanwezigheid van niet-zuurstofbindende en milieuvreemde stoffen in afvalwaterstromen, effluenten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen en regenwaterafvoeren.* Rapport nr. 80.034, Rijkswaterstaat, 1980.

9. Brinkman, F. J. *Meetnet regenwaterkwaliteit.* $H_2O$ (11) 1978, nr. 21.

10. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Voorlopige uitkomsten concentraties luchtverontreinigng.* Metingen april 1978 - maart 1979. Voorburg, 1979.

11. Conrads, L. A. en Buysman, E. *Chemie van regenwater. De invloed van stad en industrie.* KRP-rapport 34, Utrecht, 1973.

12. *Be-einflüssung der Gewässergüte durch die Regenabflüsse von Strassen.* 54. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium. Stüttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 64 München, 1979.

13. Report of a Working Group of the Comm. of the Eur. Communities. *Criteria for Cadmium.* Luxembourg, 1978.

14. Nriagu, J. O. (ed.). *The Biogeochemistry of Lead in the Environment.* Part A: Ecological cycles. Amsterdam, 1978.

15. Nriagu, J. O. (ed.). *Copper in the Environment.* Part I: Ecological cycling. New York, 1979.

16. Nriagu, J. O. (ed.). *Cadmium in the Environment.* Part I: Ecological cycling. New York, 1980.

17. Nriagu, J. O. (ed.). *Zinc in the Environment.* Part I: Ecological cycling. New York, 1980.

18. Mededeling CBS-medewerker, Heerlen.

19. Brunner, P. G. *Die Verschmutzung des Regenwasserabflüsses im Trennverfahren.* München, 1975.

20. Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek. *Cursus Verontreiniging van de buitenlucht 1980 - '81.* Delft, 1981.

21. Purves, D. *Trace-element contamination of the environment.* Amsterdam, 1977.

22. Kagie, R. *Lood, de gevolgen van een giftig metaal.* Rotterdam, 1978.

23. *Bestrijding van de luchtverontreiniging.* Indicatief Meerjarenprogramma 1976 - 1980. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Den Haag, 1976.

24. Springer, G. S. and Patterson, D. J. (editors). *Engine emissions. Pollutant Formation and Measurement.* New York - London, 1973.

25. Mededeling Gemeentewerken Den Haag.

26. Mededeling Openbare Werken Oosterwolde.

27. Mededeling Openbare Werken Driebergen.

28. Mededeling Openbare Werken Waalwijk.

29. Statistiek wegen. Gemeentewerken Rhenen.

30. Gegevens van Afd. Bedrijfsbureau. Alphen aan de Rijn.

31. Gegevens van Gemeentewerken Amsterdam.

32. CBS. Statistiek van de wegen.

33. Fonds, A. W. en Eshof, A. J. van den. *Onderzoek van spoorelementen in het uitgaande water van een aantal pompstations.* Interimrapport nr. 56/77 Imc RIV. Bilthoven, 1977.

34. Meetgegevens van Waterleidinglaboratorium Zuid. *Onderzoek op zware metalen van negen reinwater pompstations.* 1979 - 1980, Breda.

35. Zoeteman, B. C. J. *Gezond drinkwater.* Den Haag, 1976.

36. Duinwaterleiding van 's-Gravenhage. *Jaarverslag 1980.*

37. Rijsbergen, D. van. *Waterverbruik: een kwantitatieve beschouwing.* $H_2O$ (11) 1978, nr. 24, blz. 549.

38. NV Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant. *Jaarverslag 1978.*

39. Underwood, E. J. *Trace elements in human and animal nutrition.* 1977.

40. Krenkel, P. A. (ed.). *Heavy metals in the aquatic environment.* An international conference, Oxford, 1975.

41. Zoeteman, B. C. J. *Onderzoek naar relaties tussen mineralen in drinkwater en gezondheid in verband met mogelijke centrale ontharding.* $H_2O$ (9) 1976, nr. 7, blz. 125.

42. Cadmium '77. *Edited proceedings first international cadmium conference 31 jan. - 2 febr. 1977.* San Francisco 1978.

43. A report of an Inter-Departmental Working Group on Heavy Metals. Pollution paper no 2. *Lead in the environment and its significance to man.* London, 1974.

44. Ellen, G. *Het voorkomen van zware metalen in het voedsel.* Voeding (38) 1977, nr. 9.

45. Marshall Sittig (ed.). *Toxic Metals.* Pollution Technology Review no. 30. New Jersey, USA, 1976.

46. Gillies, M. T. (ed.). *Drinking water Detoxification.* Pollution Technology Review no. 49. New Jersey, USA, 1978.

47. Mahaffey, K. R. e.a. *Heavy metal exposure from foods.* Environment. Health Perspec. 12, 63 - 69, 1975.

48. Zoeteman, B. C. J. *Onderzoek naar de relatie drinkwater en gezondheid.* $H_2O$ (14) 1981, nr. 13.

49. Hutzinga, O. (ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry.* Vol. 3 Part A: Anthropogenic compounds. Heidelberg, 1980.

50. *Schwermetalle als Luftverunreinigung - Blei, Zink und Cadmium -.* VDI-Berichte 203, Düsseldorf, 1974.

51. Kreutler, P. A. *Nutrition in Perspective.* New Jersey, 1980.

52. Verschueren, K. *Luchtverontreiniging in de steden.* Monografieën Leefmilieu Nu 11, Antwerpen, 1976.

53. Nriagu, J. O. (ed.). *Zinc in the Environment.* Part II: Health Effects. New York, 1980.

54. Haring, B. J. e.a. *Onderzoek naar de gebruiksgewoonten bij drinkwaterconsumptie in Nederland.* $H_2O$ (12) 1979, nr. 10, blz. 212 e.v.

55. Zoeteman, B. C. J. *Introduction of chemical compounds into drinking water during distribution.* RID-mededeling 78-6.

56. Elzenga, C. H. J. *Ontwerp-EG-richtlijnen voor de kwaliteit van drinkwater en enige consequenties voor toegepaste materialen.* $H_2O$ (11) 1978, nr. 16.

57. A Report of Inter-Departmental Working Group. Pollution paper no. 12. *Lead in Drinking Water.* London, 1977.

58. The American Water Works Association. *Water Quality in the Distribution system.* Conference Kansas City december 1977. Denver 1978.

59. KIWA mededeling no. 54. *Kwaliteitseisen in verband met de stabiliteit van het te distribueren drinkwater.* Rijswijk, 1978.

60. Habbema, J. D. *Proefonderzoek naar de dagelijkse inname aan enkele metalen via het drinkwater.* RID-mededeling 77-2.

61. *Corrosiviteitsbepaling van drinkwater ten aanzien van loden en koperen leidingen.* RID-mededeling 80-1.

62. Barton, K. *Protection against Atmosferic Corrosion.* London, 1976.

63. Coburn, S. K. (ed.). *Atmosferic factors affecting the corrosion of engineering metals.* Symposium Pennsylvania State University 1976. Baltimore 1978.

64. *Corrosie door luchtverontreiniging.* Nederlands Corrosie Centrum publicatie no. 8. Delft, 1972.

65. Göttle, A. *Ursachen und mechanismen der Regenwasserverschmutzung.* München, 1979.

66. CUWVO werkgroep VI 1⁰ concept metaalindustrie.

67. Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant. *Jaarverslag 1976.*

68. Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant. *Jaarverslag 1977.*

69. Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant. *Jaarverslag 1978.*

70. Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant. *Jaarverslag 1979.*

● ● ●