

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU  
BILTHOVEN

Rapport nr. 734301012 (herziene editie)

**Koperemissies door drinkwaterleidingen**

W. Verweij, M.N. Mons, J.E.M. Aalbers &  
R.G.H. van Cruchten

oktober 1996

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van VROM,  
Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Drinkwater, Water, Landbouw.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,  
telefoon: 030 - 274 91 11, fax: 030 - 274 29 71

**VERZENDLIJST**

- 1 - 2 Directoraat-Generaal voor Milieubeheer, Directie Drinkwater, Water, Landbouw, afdeling Drinkwater, Industriële emissies en Afvalwaterketen
- 3 Ir. P.J. Verkerk, Hoofdinspecteur van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiene
- 4 Dr. ir. B.C.J. Zoeteman, Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
- 5 Ir. A.H. Bussemaker, IBC-DWL, RIMH Zeeland
- 6 Ir. G.W. Ardon, DGM/DWL
- 7 Ir. W. Cramer, DGM/DWL
- 8 Ing. P.C.J. de Vries, DGM/DWL
- 9 Dr. B.J.A.M. Haring, DGM/DWL
- 10 Ir. S.G. Bos, DGM/DWL
- 11 Drs. F.O. Dorgelo, DGM/SVS
- 12 Dr. J.A. van Zorge, DGM/SVS
- 13-20 Regionale Inspecties van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne
- 21-45 Drinkwaterbedrijven
- 46 Ir. R. Kreutz, VEWIN
- 47 Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie
- 48 Ir. J. Coppoolse, Rijkswaterstaat, Den Haag
- 49 H.A.J. Senhorst, RIZA, Lelystad
- 50 Ing. J. Schoot Uiterkamp, RIZA, Lelystad
- 51 Directie Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieu
- 52 Prof. ir. N.D. van Egmond
- 53 Ir. F. Langeweg
- 54 Ir. A.H.M. Bresser
- 55 Drs. F. Kragt
- 56 Drs. T. Aldenberg
- 57 Ir. J. Hrubec
- 58 Ir. J.F.M. Versteegh
- 59 Ir. J.H.C. Mülschlegel
- 60 Ir. N. Jonker
- 61 Dr. F.J.J. Brinkmann
- 62 Drs. J.A. Annema
- 63 Drs. E.M. Paardekooper
- 64 J.G. Elzenga
- 65 Hoofd bureau Voorlichting en Public Relations
- 66-69 Auteurs
- 70-71 RIVM-bibliotheek
- 72 Rapportenregistratie
- 73-83 Bureau Rapportenbeheer

**INHOUDSOPGAVE**

Verzendlijst	2
Inhoudsopgave	3
Abstract	4
Samenvatting	5
1. Inleiding	6
2. Materiaal en methoden	8
2.1 Emissies	8
2.2 Terugrekening	8
2.3 Conditionering	9
3. Resultaten	10
3.1 Emissies	10
3.2 Terugrekening	14
3.3 Conditionering	14
4. Discussie	18
4.1 Emissies	18
4.2 Terugrekening	19
4.3 Conditionering	19
5. Conclusies en aanbevelingen	21
Literatuur	22

**ABSTRACT**

This study was carried out to assess the amounts of copper released by corrosion of copper pipes used for drinking-water distribution into wastewater treatment plants, sewage sludge and surface water in the Netherlands. For the Netherlands as a whole, 57% of the copper load in wastewater treatment plants is attributed to copper pipes. Of this, an average of 77% ends up in sewage sludge in such concentrations as to hinder application of sewage sludge in agriculture. The remainder ends up in surface water, where it is jointly responsible for the non-compliance of the Dutch surface-water standard for copper. Compliance can only be achieved by substantially reducing emissions. Corrosion control of drinking water contributes to reducing emissions, but this is not sufficient to meet the surface water standards. Little information was found on the contribution of water-heaters and of households compared to other users of drinking water.

## SAMENVATTING

In opdracht van het ministerie van VROM (Directie Drinkwater, Water, Landbouw) is geïnventariseerd wat er bekend is over de fluxen van koper door (corrosie van) waterleidingen naar rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's), rwzi-slib en het oppervlaktewater. Gebleken is dat in 1993 (landelijk gemiddeld) 57% van de koperbelasting van rwzi's afkomstig is van corrosie van waterleidingen. De totale koperflux naar rwzi's lijkt dalende te zijn. Er is weinig informatie over de bijdrage van warmwatertoestellen en over de bijdrage van huishoudens ten opzichte van andere verbruikers.

Landelijk gemiddeld wordt bij rwzi's 77% van de kopervracht uit het water verwijderd; per provincie komen grote verschillen voor. Dit koper komt terecht in het rwzi-slib in dusdanige concentraties dat nuttige toepassing in bijvoorbeeld de landbouw onmogelijk is (overschrijding zogenoemde BOOM2-norm).

Het overige koper komt terecht in het oppervlaktewater waar het mede debet is aan de veelvuldige en veelvoudige overschrijding van de grenswaarde voor koper in oppervlaktewater. Forse emissiereducties zijn nodig om de grenswaarde overal te halen.

Conditionering van drinkwater is een van de manieren om de koperafgifte te reduceren, echter onvoldoende om overschrijding van de grenswaarde te voorkomen.

## 1. INLEIDING

### *Probleemschets*

In Nederland maar ook elders wordt door de waterleidingsector veel gebruik gemaakt van koperen leidingen. Behalve veel praktische voordelen heeft koper echter ook een aantal nadelen. Een belangrijk nadeel is de afgifte van koper aan het water. Dit heeft drie consequenties:

- de smaak van het water wordt negatief beïnvloed boven bepaalde koperconcentraties;
- de toepasbaarheid van slib uit rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) in bijvoorbeeld de landbouw wordt bemoeilijkt doordat de koperconcentratie in het slib dusdanig hoog wordt dat zich negatieve effecten op de bodem kunnen voordoen;
- mede door het koper in het effluent van rwzi's wordt de norm voor koper in oppervlaktewater veelvuldig en veelvoudig overschreden. In 1993 was op circa 90% van de onderzochte locaties sprake van overschrijding van de grenswaarde; de gemiddelde overschrijding bedroeg circa een factor 3 (RIVM, 1995). Aangezien het hier om een ecologische norm gaat, kunnen negatieve effecten op waterorganismen optreden.

Om deze redenen is de koperafgifte door drinkwaterleidingen in de afgelopen jaren regelmatig bestudeerd.

### *Vraagstelling Ministerie van VROM/DGM/DWL*

In het Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen wordt momenteel bij nieuwbouw het gebruik van kunststof waterleidingen aanbevolen. Er bestond bij de directie DWL behoefte aan eenduidige informatie over welk deel van de koperbelasting van rwzi's en van oppervlaktewater uit de drinkwatersector afkomstig is. In de literatuur circuleren namelijk verschillende getallen. Evenmin is duidelijk wat de bijdrage is van warmwatertoestellen aan de totale belasting van de drinkwatersector. Kennis over genoemde aspecten is van belang om de maatschappelijke acceptatie van eventuele maatregelen te bevorderen, respectievelijk de juiste maatregelen te kunnen nemen.

Kwaliteitsaspecten van het drinkwater zoals smaak vallen buiten het kader van deze vraag.

### *Indeling*

In dit rapport wordt verslag gedaan van een onderzoek dat tot doel had bovengenoemde vragen te beantwoorden. *Deel 1* bevat gegevens met betrekking tot de emissies van koper door drinkwaterleidingen van het meest recente jaar waarvan gegevens beschikbaar waren. Tevens wordt ingegaan op de koperstromen naar en uit rwzi's, inclusief die naar het oppervlaktewater. Ook wordt een overzicht gegeven van de (overigens geringe) informatie met betrekking tot koperemissies in utiliteitsgebouwen en warmwatertoestellen. In *deel 2* wordt de gebruikelijke route om emissies te volgen (van bron tot en met effect) in omgekeerde volgorde bewandeld: uitgaande van een bepaalde kwaliteit van het oppervlaktewater (de grenswaarde) wordt de maximale koperemissie door rwzi's berekend, waarna, aan de hand van het gemiddelde verwijderingsrendement van rwzi's de *maximaal toelaatbare* koperconcentratie in rwzi-influent zal worden berekend. Deze concentratie zal worden vergeleken met de gemeten *feitelijke* koperconcentratie in rwzi-influent. Op deze wijze kan gemakkelijk inzichtelijk worden

gemaakt welke emissiereducties nodig zijn om de grenswaarde te realiseren. In *deel 3* zal worden ingegaan op mogelijkheden de koperemissies door drinkwaterleidingen te reduceren. Naast het gebruiken van alternatieve materialen kan dit bijvoorbeeld gebeuren door *conditionering* van drinkwater. Momenteel wordt in Nederland circa 30 procent van het drinkwater onthard of een andere manier geconditioneerd. Nog circa 20 procent staat op de nominatie geconditioneerd te worden. De resterende circa 50 procent hoeft niet geconditioneerd te worden omdat het van nature al een lage hardheid heeft (Merks *et al.*, 1996). In het verleden zijn pogingen in het werk gesteld de invloed van conditionering op de koperemissies theoretisch te onderbouwen (Van den Hoven, 1983; Van den Hoven *et al.*, 1990) teneinde de koperemissie te kunnen voorspellen. In dit rapport zal worden gepoogd deze onderbouwing een stapje verder te brengen. Toevoeging van *inhibitoren* aan het drinkwater kan ook bijdragen aan vermindering van de koperafgifte. Ook daarop zal kort worden ingegaan.

Dit rapport is een inventarisatie van de beschikbare informatie (peildatum begin 1996). Helaas kunnen daarmee niet alle vragen gedetailleerd worden beantwoord.

De opbouw van dit rapport is als volgt: in hoofdstuk 2 worden de gebruikte methoden beschreven. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten, hoofdstuk 4 de discussie. In hoofdstuk 5 worden conclusies en aanbevelingen gegeven.

## 2. MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 Emissies

De gegevens over emissies van koper naar rwzi's en oppervlaktewater zijn afkomstig uit het RIZA-/RIVM-emissiemodel PROMISE (*Prognosis model of inputs to surface water and emission reductions*) (Verstappen *et al.*, 1995). In PROMISE wordt de emissie van een bepaalde stof naar oppervlaktewater berekend aan de hand van de omvang van een bepaald proces en een emissiefactor. Buitenlandse aanvoer wordt *niet* door PROMISE berekend. Voor sommige stoffen kan buitenlandse aanvoer via bijvoorbeeld Rijn of Maas dominant zijn ten opzichte van de emissies in Nederlands oppervlaktewater; dit valt echter buiten het gezichtsveld van PROMISE. Buitenlandse aanvoer zal vooral de concentratie in grote wateren beïnvloeden; de concentratie in regionale wateren zal hierdoor minder worden beïnvloed.

Data van de koperconcentraties in rwzi-influent, -effluent en -slib zijn verkregen van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Het CBS enquêteert jaarlijks de rwzi-beheerders om de samenstelling van influent, effluent en slib in kaart te brengen en stelt daarvan landelijke overzichten op.

De gegevens omtrent warmwatertoestellen en utiliteitsgebouwen zijn afkomstig uit de literatuur.

### 2.2 Terugrekening

De terugrekening van concentratie in oppervlaktewater tot *maximaal toelaatbare* koperconcentratie in rwzi-influent kan opgedeeld worden in de volgende stappen.

1. Bepaling van de norm voor koper in oppervlaktewater.
2. Berekening van de maximaal toegestane concentratie in rwzi-effluent.
3. Vaststelling van het verwijderingsrendement van rwzi's voor koper.
4. Berekening van de maximaal toegestane concentratie in rwzi-influent.

De onder 4 berekende concentratie kan vervolgens worden vergeleken met de werkelijke koperconcentratie in rwzi-influent.

Voor dit gedeelte van dit rapport is gebruik gemaakt van een recent verschenen RIVM-rapport (Paardekooper *et al.*, 1996). Details van de berekeningen zijn te vinden in Aalbers en Van Cruchten (1996).

Ad 1.

De grenswaarde voor koper in oppervlaktewater bedraagt 3 µg/l totaal koper (VROM, 1991). Dit is een ecotoxicologische norm. Volksgezondheidsaspecten hebben hierbij dus geen rol gespeeld.

Ad 2.

In de nabijheid van lozingspunten (van rwzi's of industrie) zou de grenswaarde alleen gerealiseerd kunnen worden als het effluent aan de grenswaarde voldoet. In de praktijk is dit niet



reëel. Bij de vergunningverlening in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO) wordt dan ook in een beperkte zone een overschrijding van de grenswaarde toegestaan. Voor de uitgevoerde verspreidingsberekeningen is als (enigszins arbitraire) keuze gehanteerd dat in 10% van het oppervlak van de fysische mengzone de norm mag worden overschreden, echter met een maximum van circa 1/3 van de breedte van het ontvangende water (Voortman, 1994). Met behulp van verspreidingsmodellen kan dan worden berekend wat de maximale concentratie in het effluent mag zijn.

In principe kan een dergelijke berekening voor iedere individuele rwzi worden gemaakt. Gezien het grote aantal rwzi's in Nederland (426 in 1994; CBS, 1996), was het echter niet haalbaar al deze berekeningen uit te voeren. Het berekenen van één landelijk gemiddelde heeft echter wel als nadeel dat er veel zinvolle informatie verloren gaat. Daarom is gekozen voor een praktisch compromis, namelijk een indeling in zes typen ontvangend water. Voor elk type is een standaarddebiet vastgesteld van het ontvangende water en een standaardlozingsdebiet van de rwzi. Dit zijn *geen* gemiddelden maar kenmerkende waarden. Dit betekent dat de resultaten evenmin gemiddelden zijn maar eveneens kenmerkende waarden.

De zes standaardtypen zijn grote rivier, middelgrote rivier, kleine rivier, meer, kanaal en polderwater.

Voor details van deze indeling wordt verwezen naar Paardekooper *et al.* (1996).

Ad 3.

Uitgaande van hoeveelheden koper in rwzi-influent en -effluent, kan berekend worden wat het verwijderingsrendement van rwzi's voor koper is. Er is gerekend met het landelijk gemiddelde verwijderingsrendement van 77%, berekend op basis van CBS-data (1996). Per individuele rwzi kan dit variëren van 31 tot 92% (Senhorst, 1992).

Ad 4.

Op basis van de effluentconcentratie zoals berekend onder punt 2, en het verwijderingsrendement, berekend onder punt 3, kan de maximaal toegestane influentconcentratie worden berekend.

### 2.3 Conditionering

Voor de berekeningen van de maximale oplosbaarheid van koper is gebruik van het programma GECHEQ (prototype van versie 6) waarmee chemische evenwichten kunnen worden berekend (Verweij, 1993). De interacties tussen koper en opgelost organisch koolstof (DOC) zijn gemodelleerd volgens Cabaniss en Shuman (1988a, 1988b) zoals gedetailleerd beschreven in een intern stuk (Verweij, 1996). Deze aanpak heeft in oppervlaktewater betrouwbaar geachte resultaten opgeleverd (Verweij, 1996; Tubbing *et al.*, 1996).

Bij de berekeningen ten behoeve van dit rapport werd er van uitgegaan dat de oplosbaarheid van koper in drinkwaterleidingen gereguleerd wordt door de oplosbaarheid van malachiet, een vast koperhydroxycarbonaat met chemische formule  $\text{Cu(II)}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ .

Daarnaast is veel informatie uit literatuur verkregen.

### 3. RESULTATEN

#### 3.1 Emissies

In tabel 3.1 staan de emissies weergegeven van koper naar Nederlands oppervlaktewater in 1993, in kg per jaar. De getallen zijn afkomstig uit PROMISE. Vanuit sommige bronnen (bijvoorbeeld scheepvaart) gaat alle geëmitteerde koper rechtstreeks naar oppervlaktewater, andere bronnen (waaronder koper uit waterleidingen) emitteren deels naar rwzi's, deels rechtstreeks naar oppervlaktewater. De kolom "rechtstreeks" is een optelling van vier categorieën, te weten directe lozingen, lozingen op riolering buiten rwzi's om, regenwaterafvoer en rwzi-overstorten. Regenwaterafvoer is alleen bekend voor verkeer; voor alle andere bronnen zijn voor deze term geen data gegenereerd. Drie mogelijke routes van koper naar oppervlaktewater zijn *niet* opgenomen in deze PROMISE-data, namelijk uitspoeling vanuit de landbouw, vuurwerk en koperen bovenleidingen van de NS. Zoals al vermeld in hoofdstuk 2 bevat PROMISE alleen de emissies *in* Nederland en dus niet de buitenlandse aanvoer via rivieren.

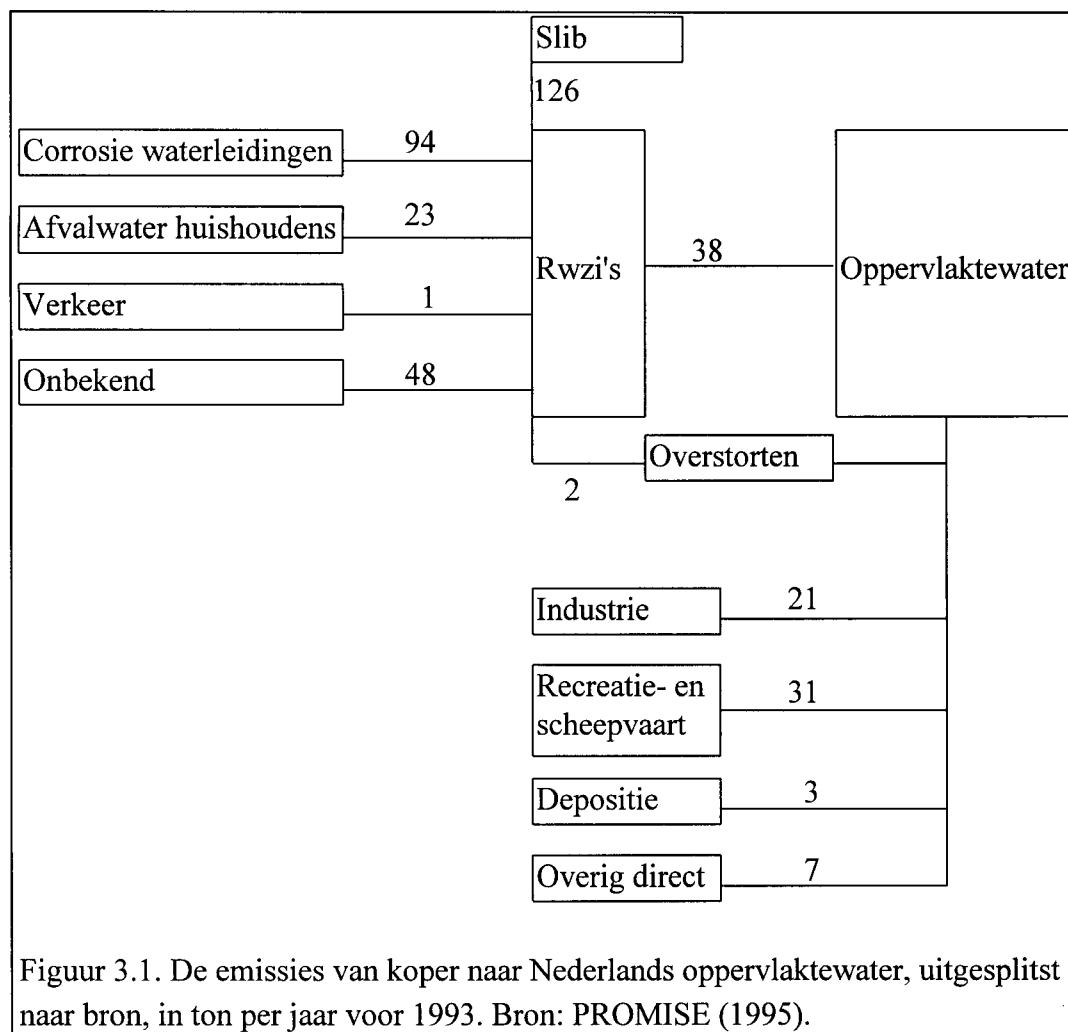
De term "Afvalwater huishoudens" omvat onder andere koper uit faeces en urine alsmede het weinige koper in drinkwater dat niet van corrosie afkomstig is.

Volgens de door PROMISE gegenereerde data zijn de drie grote bronnen van koperemissies naar oppervlaktewater:

- de scheepvaart (recreatievaart 18%; beroepsvaart 12%); het betreft hier vooral oplossen van anti-fouling;
- waterleidingen (25%);
- de industrie (20%).

Tabel 3.1. De emissies van koper naar Nederlands oppervlaktewater, uitgesplitst naar bron, in kg per jaar voor 1993. Bron: PROMISE (1995).

Bron	Influent	Effluent	Rechtstreeks	Totaal
Bouwmaterialen	94481 (57%)	21731	4296	26026 (25%)
<i>Corrosie waterleidingen tijdens stilstand</i>	<i>34985 (21%)</i>	<i>8046</i>	<i>1591</i>	<i>9636 ( 9%)</i>
<i>Corrosie waterleidingen tijdens doorstroming</i>	<i>48477 (29%)</i>	<i>11150</i>	<i>2204</i>	<i>13354 (13%)</i>
<i>Corrosie waterleidingen van kantoorgebouwen</i>	<i>11019 ( 7%)</i>	<i>2534</i>	<i>501</i>	<i>3035 ( 3%)</i>
Afvalwater huishoudens	22970 (14%)	5283	1044	6327 ( 6%)
Directe depositie			3341	3341 ( 3%)
Industrie			20680	20680 (20%)
Onbekende lozingen op riool	47503 (29%)	10926	2160	13086 (13%)
Recreatievaart			18422	18422 (18%)
Scheepvaart			12500	12500 (12%)
Verkeer	778 ( 0%)	179	1513	1692 ( 2%)
<b>Totaal</b>	<b>165732</b>	<b>38118</b>	<b>63957</b>	<b>102075</b>



Uit de data in tabel 3.1 kan ook worden berekend welk percentage van de koperbelasting van rwzi's veroorzaakt wordt door corrosie van waterleidingen. Dit blijkt 57% te zijn. De data zijn ook in een figuur opgenomen (figuur 3.1).

In tabel 3.2 staan, voor alle bronnen gesommeerd, de hoeveelheden koper in influent, effluent en slib van rwzi's vermeld, voor de jaren 1992 en 1993. Er bestaan weliswaar data die betrekking hebben op eerdere jaren, maar die zijn op een andere manier tot stand gekomen. Dit betekent dat oudere data niet vergelijkbaar zijn met die uit tabel 3.2. Om verwarring te voorkomen zijn hier alleen de recente, onderling vergelijkbare data opgenomen.

Tabel 3.2. De hoeveelheden koper in influent en effluent en slib van rwzi's in ton per jaar. Bron influent- en effluentdata: CBS (1996); slibdata daaruit berekend.

Jaar	Influent	Effluent	Slib
1993	166	38	128
1994	146	31	115

Tabel 3.3. De hoeveelheden koper in influent, effluent en slib van rwzi's in ton per jaar, alsmede de verwijdering van koper als percentage, uitgesplitst naar provincie. Bron influent- en effluentdata voor 1993: CBS (1995); voor 1994: CBS (1996); slibdata en verwijderingspercentages daaruit berekend.

Provincie	1993				1994			
	Influent	Effluent	Slib	Verw. perc.	Influent	Effluent	Slib	Verw. perc.
Groningen	6.3	2.8	3.5	56%	6.5	1.9	4.6	71%
Friesland	5.1	1.5	3.6	71%	4.5	0.7	3.8	84%
Drenthe	5.8	1.7	4.1	71%	6.7	2.0	4.7	70%
Overijssel	11.5	1.5	10.0	87%	5.3	1.6	3.7	70%
Flevoland	2.0	0.6	1.4	70%	2.2	0.3	1.9	86%
Gelderland	15.0	4.5	10.5	70%	12.7	3.0	9.7	76%
Utrecht	7.5	2.2	5.3	71%	8.4	2.5	5.9	70%
Noord-Holland	30.0	6.0	24.0	80%	25.8	4.4	21.4	83%
Zuid-Holland	43.2	7.8	35.4	82%	34.1	6.2	27.9	82%
Zeeland	6.1	1.1	5.0	82%	5.2	0.8	4.4	85%
Noord-Brabant	28.7	6.3	22.4	78%	30.7	6.6	24.1	79%
Limburg	5.0	1.5	3.5	70%	3.9	1.2	2.7	69%
Totaal	166.2	37.5	128.7	77%	146.0	31.2	114.8	79%

De uitsplitsing naar provincies is weergegeven in tabel 3.3. Het blijkt dat grofweg de provincies met de meeste inwoners het meeste koper emitteren naar rwzi's. Er is echter ook een niet gering verschil in verwijderingspercentage per provincie. Het was helaas niet mogelijk binnen het tijdsbestek van dit project hier een uitvoerige analyse van te maken.

De concentratie koper in rwzi-slib belemmert de toepassing ervan als meststof in de landbouw. In tabel 3.4 staat de gemiddelde concentratie van koper in rwzi-slib weergegeven naast de maximaal toegestane concentratie in rwzi-slib dat in de landbouw wordt toegepast (de zogenoemde BOOM2-norm). Duidelijk blijkt dat de feitelijke concentratie koper een nuttige toepassing van rwzi-slib in de landbouw in de weg staat. Overigens blijkt uit de tabel ook dat voor andere metalen (vooral zink) de BOOM2-norm wordt overschreden. Voor koper is de factor waarmee de BOOM2-norm wordt overschreden echter wel het hoogst.

#### *Utiliteitsgebouwen*

De bijdrage van andere gebouwen dan woningen aan de koperemissie uit waterleidingen is moeilijk te schatten. Volgens Van Oppen (1991) is het contactoppervlak van water in waterleidingen bij utiliteitsgebouwen 13% van het totaal contactoppervlak (1.2 miljoen m<sup>2</sup> voor kantoorgebouwen plus 0.2 miljoen m<sup>2</sup> voor bedrijfsgebouwen tegen 9.2 miljoen m<sup>2</sup> voor woningen). Deze getallen gaan echter terug op onderzoek uit 1986.

Tabel 3.4. Gemiddelde concentratie zware metalen in zuiveringsslib in mg/kg droge stof in 1994 (*gewogen* gemiddelde), de BOOM 2-norm (geldig vanaf 1 januari 1995) en de verhouding tussen die twee. Een verhouding groter dan 1 betekent overschrijding. Data: CBS (1996).

Stof	Gemiddelde	Norm BOOM-2	Verhouding
Cadmium	2.1	1.25	1.68
Chroom	55	75	0.73
Koper	373	75	4.97
Kwik	1.4	0.75	1.87
Nikkel	35	30	1.17
Lood	186	100	1.86
Zink	978	300	3.26
Arseen	7.5	15	0.50

Het aandeel in het *contactoppervlak* hoeft overigens niet lineair te zijn met het aandeel in de *emissies* omdat in woningen een heel ander patroon heerst van stilstand versus doorstroming dan in utiliteitsgebouwen.

Een andere manier om een indruk te krijgen van de bijdrage van niet-huishoudelijke verbruikers is het waterverbruik in de categorieën tot 300 m<sup>3</sup>/jaar (aan te duiden met "huishoudelijk" verbruik), van 300 tot 10000 m<sup>3</sup>/jaar ("klein zakelijk") en meer dan 10000 m<sup>3</sup>/jaar (industrieel). Volgens data van de VEWIN is het aandeel van het huishoudelijk waterverbruik al jaren vrijwel stabiel op circa 60% van het totale verbruik (zie tabel 3.5). Klein zakelijk verbruik en industrieel verbruik nemen elk circa 20% voor hun rekening. Aangenomen mag worden dat dit gepaard gaat met een significante bijdrage aan de koperemissies uit die sectoren.

Nader onderzoek lijkt hier op zijn plaats.

Tabel 3.5. Het percentage van de afgeleverde hoeveelheid drinkwater in de periode 1985 - 1994 naar verbruikscategorie. Data: Waterleidingstatistieken VEWIN (diverse jaren).

Jaar	tot 300 m <sup>3</sup> /jaar	van 300 tot 10000 m <sup>3</sup> /jaar	meer dan 10000 m <sup>3</sup> /jaar	overig
1985	61	16	16	7
1986	60	18	16	7
1987	59	18	17	6
1988	60	17	17	6
1989	58	19	18	5
1990	58	19	18	6
1991	57	20	17	5
1992	58	21	16	5
1993	59	21	15	5
1994	58	22	15	5

### *Warmwatertoestellen*

Er zijn helaas weinig gegevens over de bijdrage van warmwatertoestellen aan de totale emissies uit waterleidingen. Van Oppen (1991) schat hiervoor een waarde van 26.4 ton koper per jaar. Dit getal kan niet zonder meer worden vergeleken met de data uit PROMISE omdat die op een heel andere manier tot stand zijn gekomen en bovendien op een ander jaar betrekking hebben. Het suggereert echter wel een significante bijdrage. Nadere gegevens met betrekking tot de bijdrage van warmwatertoestellen konden helaas niet worden verkregen. Ook hier is nader onderzoek aan te bevelen.

### **3.2 Terugrekening**

In tabel 3.6 staan de resultaten van de terugrekening weergegeven: per standaardwater wordt de maximale influentconcentratie naast de werkelijke influentconcentratie gezet. Duidelijk is dat voor alle standaardwateren behalve "grote rivier", er een aanzienlijke overschrijding plaatsvindt van de maximale influentconcentratie. Uit een vergelijking van de standaarddebieten van de ontvangende wateren (niet getoond) met de benodigde reductiepercentages blijkt dat hoe kleiner het standaarddebiet van het ontvangende water is, hoe groter het benodigde reductiepercentage is.

Teneinde overschrijding van de grenswaarde in oppervlaktewater te voorkomen, zullen emissiereducties in de orde van 90% moeten plaatsvinden (weer met uitzondering van standaardwater "grote rivier").

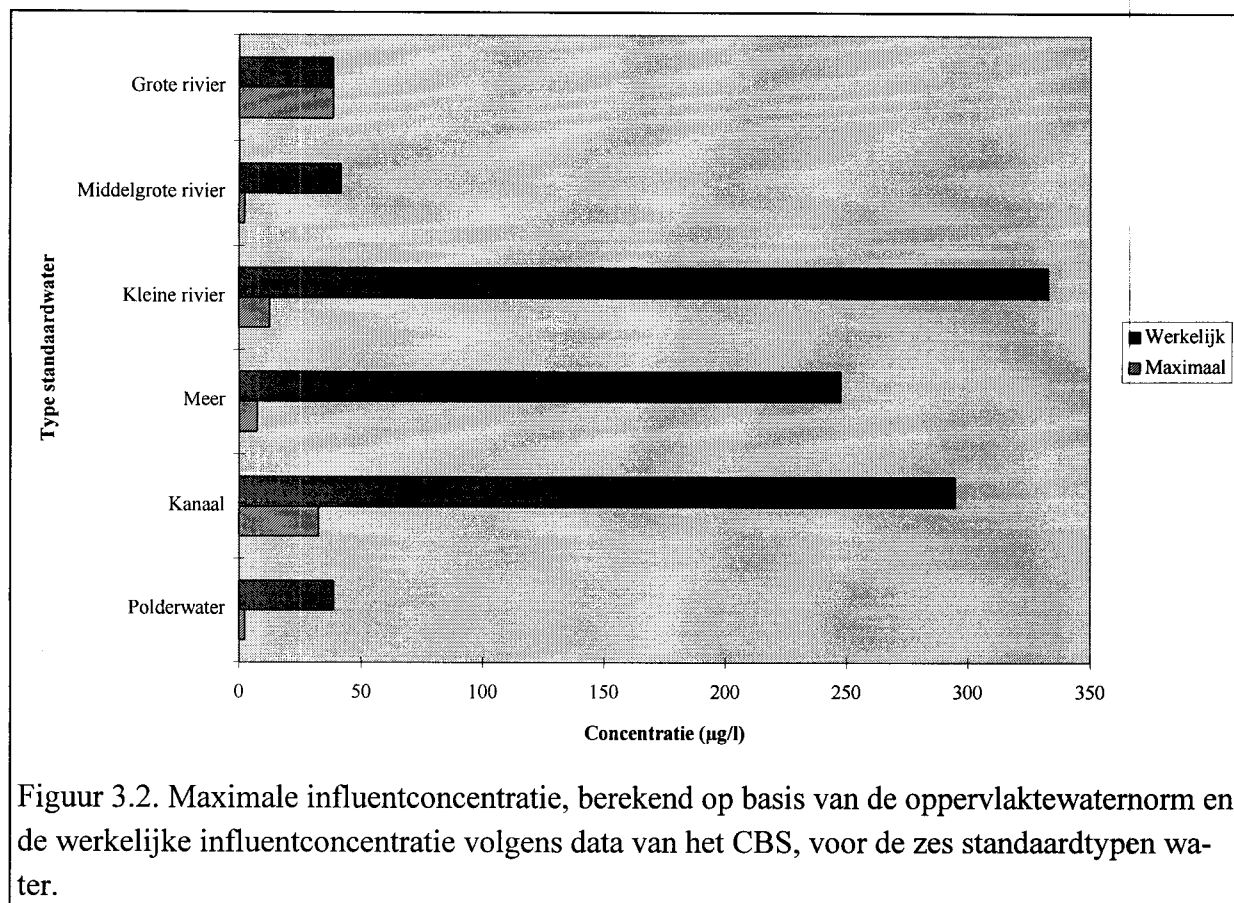
In figuur 3.2 staan de resultaten grafisch weergegeven.

### **3.3 Conditionering**

Conditionering is, naast het gebruik van andere materialen, een belangrijk middel om de emissies van koper terug te dringen. In het verleden is door verscheidene waterleidingbedrijven de invloed van conditionering op het koperoplossend vermogen gemeten. De meest

Tabel 3.6. Maximale influentconcentratie, berekend op basis van de oppervlaktewaternorm en de werkelijke influentconcentratie volgens data van het CBS, voor de zes standaardtypen water.

Type water	Maximale influentconc. ( $\mu\text{g/l}$ )	Werkelijke influentconc. ( $\mu\text{g/l}$ )	Overschrijding ( $\mu\text{g/l}$ )	Benodigd reductiepercentage
Grote rivier	38.4	38.4	0	0
Middelgrote rivier	2.3	41.7	39.4	94
Kleine rivier	12.5	332.7	320.2	94
Meer	7.4	247.7	240.3	97
Kanaal	32.6	294.7	262.2	89
Polderwater	2.4	38.6	36.3	93



Figuur 3.2. Maximale influentconcentratie, berekend op basis van de oppervlaktewaternorm en de werkelijke influentconcentratie volgens data van het CBS, voor de zes standaardtypen water.

gebruikte opstelling om het koperoplossend vermogen te bepalen is de zogenoemde koperen-buizen-proef, een proef waarbij de concentratie koper in een aantal koperen buizen na verschillende perioden van stilstand kan worden gemeten. De parameter die meestal wordt onderzocht is de zogenoemde plateauwaarde, de (schijnbare) evenwichtsconcentratie koper na langere tijd stilstand (bijvoorbeeld 16 uur).

Voorbeelden zijn:

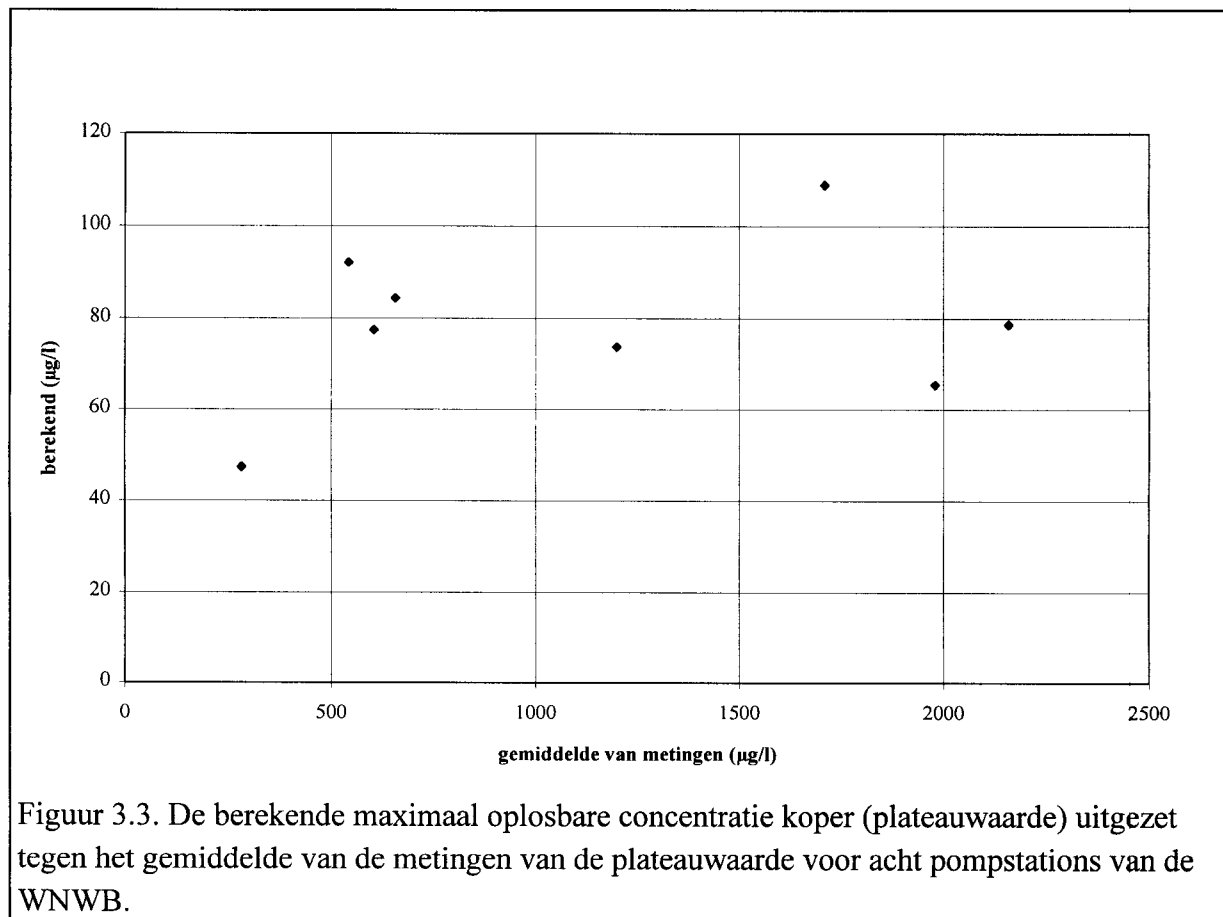
- Gemeentewaterleidingen Amsterdam (GWA) (pompstations Weesperkarspel en Amsterdam); het koperoplossend vermogen nam af met een factor 3 à 5 tot ongeveer 0.15 mg/l (GWA, 1979);
- GWA (pompstation Leiduin); het koperoplossend vermogen nam af van circa 0.45 mg/l tot circa 0.2 mg/l (Van de Kraats en Van Soest, 1987);
- Waterleiding Friesland (WLF) (pompstation Noordbergum); het koperoplossend vermogen nam af met circa 65% (Van Ammers *et al.*, 1989);
- Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant (WNWB) (pompstation Seppe); het koperoplossend vermogen nam af van ruim 2 mg/l in 1991 en 1992 tot circa 0.5 mg/l in 1993 en 1994 (pers. comm. dhr. Van Nuland);
- Duinwaterbedrijf Zuid-Holland (DZH) (pompstation Scheveningen); het koperoplossend vermogen daalde van circa 1 naar circa 0.25 mg/l; tevens was een duidelijke afname te zien van de koperbelasting op een rwzi (Tielemans *et al.*, 1995).

In al deze gevallen werd een reductie van het koperoplossend vermogen gerealiseerd tot grofweg een kwart van de waarde vóór conditionering.

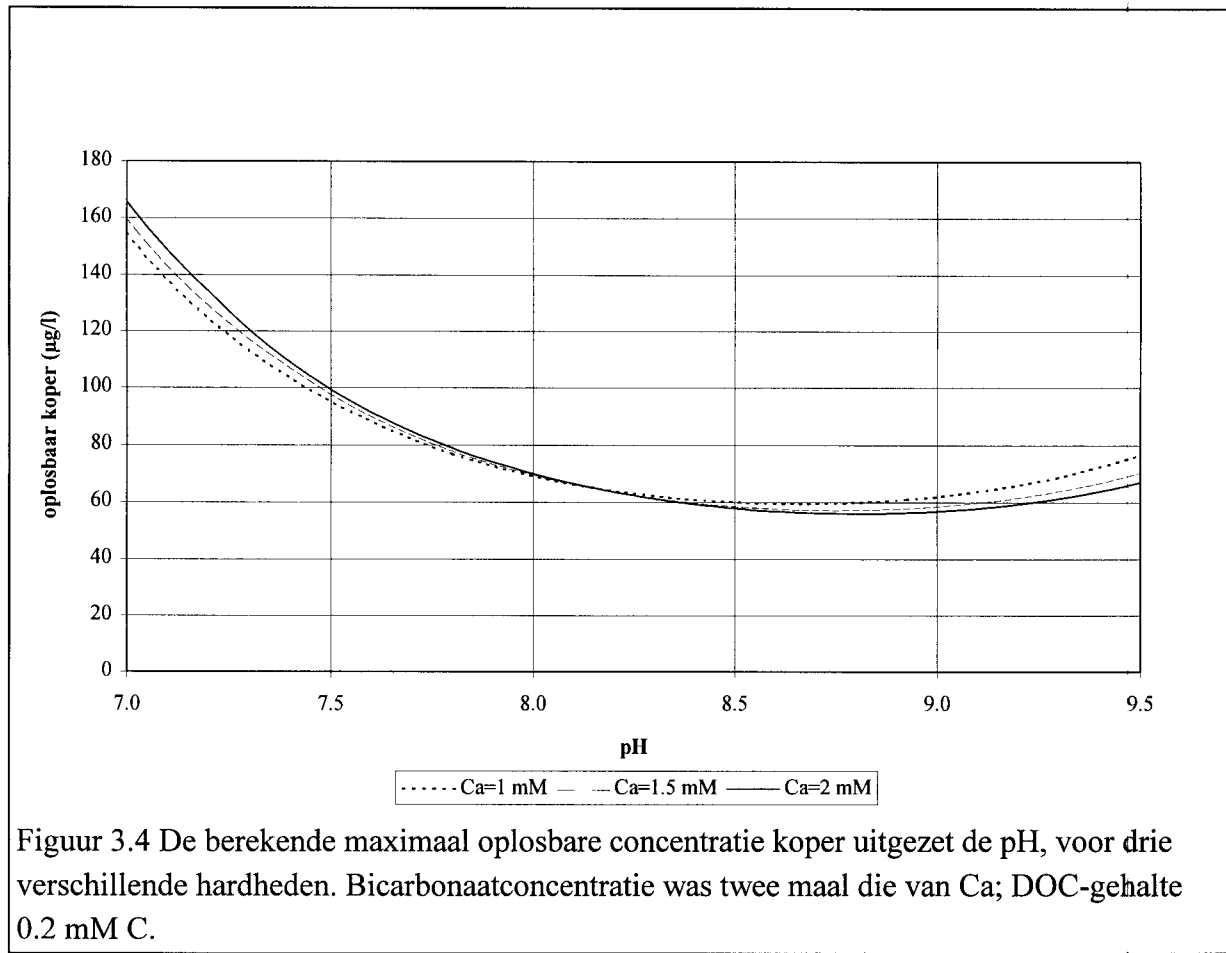
### Modellering

Van de WNWB werden gegevens gekregen over het koperoplossend vermogen van meerdere pompstations. Van acht WNWB-pompstations waren tevens metingen van het opgeloste organische koolstof (DOC) beschikbaar in het Informatiesysteem Drinkwater (ISDIV) van het RIVM. Van deze acht pompstations kon de evenwichtsconcentratie koper in de buis worden berekend, ervan uitgaand dat de maximaal oplosbare concentratie koper door malachiet wordt bepaald. De resultaten van de berekeningen staan in figuur 3.3 uitgezet tegen het *gemiddelde* van de WNWB-metingen (meestal drie of vier). Duidelijk is dat de berekeningen veel lager uitkomen dan de metingen (gemiddeld een factor 14 te laag). Kennelijk kan de toegepaste evenwichtsmodellering niet zonder meer gebruikt worden om de resultaten van de koperen-buizen-proef te voorspellen. De trend is echter wel grofweg in overeenstemming met de metingen.

In figuur 3.4 staat de invloed van pH en hardheid weergegeven. Voor drie verschillende hardheden (Ca 1, 1.5 en 2 mM; totaal carbonaat resp. 2, 3 en 4 mM) en een reeks van pH's is de concentratie theoretisch oplosbaar koper uitgezet. Volgens deze figuur lijkt de pH, vooral in het traject van 7 tot 8, van groter belang dan de hardheid. De waarde van deze constatering







Figuur 3.4 De berekende maximaal oplosbare concentratie koper uitgezet de pH, voor drie verschillende hardheden. Bicarbonaatconcentratie was twee maal die van Ca; DOC-gehalte 0.2 mM C.

moet echter, gezien het ontbreken van overeenstemming tussen de WNWB-metingen en de berekeningen, vooralsnog niet al te hoog worden aangeslagen.

### *Inhibitoren*

Met behulp van inhibitoren kan de oplosbaarheid van metalen verminderd worden waardoor er uit metalen leidingen minder leidingmateriaal oplost. In principe kan hiermee een bijdrage worden geleverd aan de oplossing van het probleem. Tot dusverre zijn in Nederland geen inhibitoren toegepast door de drinkwaterbedrijven. De meest toegepaste inhibitoren (fosfaat- en silicaatzouten) zijn namelijk ook nutriënten waardoor de biologische activiteit in het leidingnet kan toenemen. Dit kan tot ongewenste nagroei aanleiding geven. Ook kunnen de concentraties van fosfaat significant bijdragen aan de totale fosfaatemissies naar oppervlaktewater en zo bijdragen aan de eutrofiëring van oppervlaktewater (Verweij, 1992). In Duitsland en Engeland worden inhibitoren wel toegepast (Van den Hoven, 1986).

Juridische aspecten van de toevoeging van inhibitoren aan drinkwater zijn hier overigens buiten beschouwing gebleven. Het is niet uitgesloten dat het toevoegen van inhibitoren tot juridische problemen kan leiden gezien eerdere gerechtelijke uitspraken over het toevoegen van fluoride aan drinkwater.

## 4. DISCUSSIE

### 4.1 Emissies

Koper afkomstig van corrosie van waterleidingen vormt 57% van de koperbelasting van rwzi's (peiljaar 1993). Ongeveer driekwart (77%) van dat koper wordt op rwzi's verwijderd en komt in het rwzi-slib terecht. Het resterende deel gaat naar het oppervlaktewater. Een beperkt deel van het koper dat bij corrosie van waterleidingen vrijkomt wordt rechtstreeks, dus zonder tussenkomst van een rwzi, op het oppervlaktewater geloosd. In totaal is koper afkomstig van waterleidingen verantwoordelijk voor 25% van de totale koperemissies naar oppervlaktewater.

De gegevens in tabel 3.2 suggereren een dalende trend in koperhoeveelheden in rwzi-influent, -effluent en -slib. Op grond van alleen de data van deze twee jaren is het niet goed mogelijk te concluderen dat er inderdaad sprake is van een daling. Echter, de data die op de oude manier werden verkregen laten, na een aanvankelijke stijging in de jaren tachtig, vanaf 1989 een stabilisatie zien in de hoeveelheden koper in rwzi-influent, -effluent en -slib (CBS, 1994). Het is dus goed mogelijk dat er momenteel inderdaad sprake is van een daling in de hoeveelheden koper die door rwzi's verwerkt worden. Voor definitieve uitspraken is het echter nog te vroeg.

De bijdragen van utiliteitsgebouwen en warmwatertoestellen zijn helaas moeilijk te kwantificeren. Nader onderzoek naar deze, mogelijk omvangrijke bronnen is sterk aan te bevelen.

De gebruikte databronnen (PROMISE voor emissies; CBS-data voor rwzi-gegevens) kunnen betrouwbaar worden geacht. De verkregen data moeten als de best haalbare worden gezien. Dit betekent uiteraard niet dat deze data tot op de kg nauwkeurig kloppen. *PROMISE* is een model dat, zoals elk model, aannames maakt en vereenvoudigingen doet bij de berekeningen. Deze aannames en vereenvoudigingen zijn ongetwijfeld van invloed op de uitkomsten. Van vier routes (zie paragraaf 3.1) zijn geen gegevens bekend. Niet duidelijk is in hoeverre dit het beeld vertekent. Aangezien *PROMISE* geen data van buitenlandse aanvoer genereert, zijn de gegevens niet geschikt om een koperbalans van Nederland op te stellen. Overigens is voor 1990 geraamd dat er een kleine 400 ton koper via rivieren Nederland binnenkwam (Annema *et al.*, 1995). Uit een vergelijking met tabel 3.1 en 3.2 blijkt dan dat de input via rivieren in 1990 enkele malen groter was dan de totale input van binnenlandse bronnen in 1993 en dus de koperbalans van Nederland domineert.

De *CBS-data* met betrekking tot rwzi's zijn afkomstig van metingen en moeten betrouwbaar worden geacht. Monsternamen van slib (en in mindere mate van het influent en effluent) is echter lastig waardoor er een vrij grote variatie op kan treden in duplo-monsters.

De verschillen in rwzi-data tussen de verschillende provincies (zie tabel 3.3) verdienen nadere bestudering. Het is vooral interessant te kijken of de verschillen in verwijderingspercentages terug te voeren zijn op bepaalde typen rwzi's.

## 4.2 Terugrekening

Met nadruk moet gesteld worden dat de resultaten beschreven in hoofdstuk 3 *geen* gemiddelden zijn maar kenmerkend worden geacht voor de zes standaardwateren. Per individuele rwzi kan het beeld sterk afwijken.

Uit de resultaten blijkt dat reducties van de emissies met grofweg 90% nodig zijn om overschrijding van de norm voor koper in oppervlaktewater te voorkomen (uitgezonderd voor rwzi's die lozen op het standaardwater "grote rivier").

Een mogelijke manier om de emissies terug te dringen is het gebruik van andere materialen (aanpak bij de bron). Overwogen zou kunnen worden bij prioritering van eventuele end-of-pipe-maatregelen rekening te houden met het debiet van het ontvangend water, aangezien een klein debiet gekoppeld is aan een hoge mate van overschrijding van de norm. Dit geldt echter alleen indien de invalshoek is het terugdringen van de overschrijding van de norm voor koper in oppervlaktewater. Indien het terugdringen van de totale emissie (in absolute hoeveelheden) beoogd wordt heeft een dergelijke prioritering geen zin.

Ook zou nagegaan kunnen worden in hoeverre het wenselijk is in het voortraject van de bouw van rwzi's het debiet van het ontvangende water een grotere rol te laten spelen.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met koper dat van nature in oppervlaktewater aanwezig is of koper dat door andere bronnen is geëmitteerd (inclusief buitenland; zie paragraaf 4.1). Zou dat wel gebeurd zijn dan was in de standaardsituaties de maximaal toelaatbare effluentconcentratie voor rwzi's op 0 µg/l uitgekomen.

Het is echter duidelijk dat de normen in oppervlaktewater voor koper veelvuldig en veelvoudig worden overschreden. Koperemissies door rwzi's nemen daarvan een significant deel voor hun rekening. Het halen van de norm voor koper in oppervlaktewater zal dan ook alleen mogelijk zijn indien koperemissies door rwzi's gereduceerd worden, samen met koperemissies van andere binnen- en buitenlandse bronnen.

## 4.3 Conditionering

Conditionering van drinkwater is een belangrijk middel om de koperemissies door drinkwaterleidingen terug te dringen. Het is echter niet genoeg om normoverschrijding te voorkomen: een reductie in de plateauwaarde tot circa 25% van de oorspronkelijke waarde is haalbaar, maar de emissies bij rwzi's moeten tot circa 10% worden gereduceerd.

De *berekende* maximale oplosbaarheid bleek aanzienlijk lager uit te vallen dan de *gemeten* plateauwaarde in de koperen-buizen-proef. Als mogelijke redenen voor het ontbreken van overeenstemming tussen berekeningen en metingen zijn genoemd (Van den Hoven *et al.*, 1990):

1. andere vaste koperfasen dan malachiet die de oplosbaarheid van koper reguleren, bijvoorbeeld cupriet  $\text{Cu(I)}_2\text{O}$ ;
2. het meebepalen van deeltjes koper bij de koperen-buizen-proef;

3. het niet verdisconteren van interacties tussen koper en DOC;
4. onjuiste waarden voor de evenwichtsconstanten.

Mogelijkheid 4 is niet waarschijnlijk omdat de gebruikte evenwichtsconstanten gebaseerd zijn op uitgebreid onderzoek; mogelijkheid 1 en 2 kunnen zeker niet worden uitgesloten; mogelijkheid 3 is te ondervangen met behulp van het gebruikte model voor interacties tussen koper en DOC (Cabaniss en Shuman, 1988a, 1988b).

Uit de modelleringsresultaten blijkt dat de pH een belangrijkere factor is dan de hardheid. Gezien de discrepantie tussen de berekeningen en de metingen dient hier voorshands niet te veel waarde aan te worden gehecht. Wel verdient het aanbeveling bij nader experimenteel onderzoek apart aandacht te besteden aan deze beide grootheden.

Aan toepassing van inhibitoren kleven enkele, nog onvoldoende onderzochte nadelen.

## 5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Corrosie van koperen waterleidingen leidt tot koperemissies. Landelijk gemiddeld is 57% van het koper in rwzi-influent afkomstig van corrosie van koperen waterleidingen. Van de belasting van oppervlaktewater door *binnenlandse* bronnen is 25% hiervan afkomstig. Koperen waterleidingen vormen hiermee na de scheepvaart de grootste *binnenlandse* bron van koper in oppervlaktewater.
- Metingen bij rwzi's suggereren een dalende trend van de totale kopervracht die door rwzi's wordt verwerkt.
- De verwijderingspercentages bij rwzi's kunnen per provincie sterk verschillen. Het verdient aanbeveling hier nader onderzoek naar te doen.
- De kopergehalten in rwzi-slib zijn te hoog om toepassing ervan als meststof in de landbouw mogelijk te maken. De gemiddelde concentratie koper is circa een factor 5 te hoog. Ook andere metalen (vooral zink) overschrijden de normen maar de factor waarmee koper de norm overschrijdt is het hoogst.
- Er is weinig informatie bekend over de bijdrage aan de koperemissies van huishoudens ten opzichte van andere waterverbruikers (klein-zakelijk en industrieel). Mogelijk is de bijdrage van andere waterverbruikers aanzienlijk. Nader onderzoek wordt aanbevolen.
- Evenmin is er weinig informatie over de bijdrage van warmwatertoestellen. Ook hier wordt nader onderzoek aanbevolen.
- Om de normoverschrijding van koper in oppervlaktewater te voorkomen zijn grote emissiereducties bij rwzi's nodig (in de orde van 90%). Uitzondering vormen rwzi's die lozen op grote rivieren, waar geen emissiereducties nodig zijn. Zowel een aanpak bij de bron als een end-of-pipe-benadering is denkbaar.
- Conditionering van drinkwater levert een bijdrage aan de vermindering van koperemissies. Het is echter onvoldoende zijn om normoverschrijding in oppervlaktewater te voorkomen. Het voorspellen van de plateauwaarde met behulp van evenwichtsmodellen lukt vooralsnog niet. Aanbevolen wordt hier nader onderzoek naar te doen en daarbij de factoren pH en hardheid afzonderlijk te onderzoeken. Het toevoegen van inhibitoren aan drinkwater kan tot problemen aanleiding geven in het leidingnet en oppervlaktewater. Ook zijn juridische problemen niet uitgesloten.

**LITERATUUR**

- Aalbers, A. & R. van Cruchten (1996). Koperemissie door drinkwaterleidingen in Nederland. Afstudeerscriptie Hogeschool van Utrecht, Milieukunde.
- Ammers, M. van, J. van der Meulen & W.F.H. Blaauw (1989). Centrale ontharding als middel tot verlaging loodgehalten van drinkwater aan de tapkraan. *H<sub>2</sub>O* 22, 36 - 37.
- Annema, J.A., E.M. Paardekooper, H. Booij, L.F.C.M. van Oers, E. van der Voet & P.A.A. Mulder (1995). Stofstroomanalyse van zes zware metalen - Gevolgen van autonome ontwikkelingen en maatregelen. Rapport nr. 601014010, RIVM, Bilthoven.
- Cabaniss, S.E. & M.S. Shuman (1988a). Copper binding by dissolved organic matter: I. Suwannee River fulvic acid equilibria. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 185 - 193.
- Cabaniss, S.E. & M.S. Shuman (1988b). Copper binding by dissolved organic matter: II. Variation in type and source of organic matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 195 - 200.
- CBS (1994). Milieustatistieken voor Nederland 1994. Sdu/uitgeverij, Den Haag.
- CBS (1995). Waterkwaliteitsbeheer, deel b, zuivering van afvalwater. CBS, Voorburg/Heerlen.
- CBS (1996). Computer-uitdraaien door CBS ter beschikking gesteld.
- GWA (1979). Jaarverslag gemeentewaterleiding 1978. GWA, Amsterdam.
- Hoven, Th.J.J. van den (1983). Onderzoek naar het effect van deelontharding op het koperoplossend vermogen van het water afkomstig van het pompstation Altena. SWI-rapport 83.102, KIWA, Nieuwegein.
- Hoven, Th.J.J. van den (1986). Effect van fosfaten op de inwendige corrosie van metalen waterleidingen. Een oriënterend literatuuronderzoek. KIWA, Nieuwegein.
- Hoven, Th.J.J. van den, P.K. Baggelaar & G.H. Ekkers (1990). Koperafgifte door drinkwaterleidingen. Kiwa-mededeling 111, KIWA, Nieuwegein.
- Kraats, M.M. van de & E.A.M. van Soest (1987). De invloed van centrale ontharding op het koper- en loodgehalte in het drinkwater en in het zuiveringsslib van rioolzuiveringsinstallaties. *H<sub>2</sub>O* 20, 301 - 303.
- Merks, C.W.A.M., M.M. Nederlof & H. Brink (1996). Korrelreactoren voor ontharding; membraanprocessen voor gecombineerde problemen. Verslag van *Kiwa-workshop 'Ontharden in de toekomst'*. *H<sub>2</sub>O* 29, 283 - 285.
- Oppen, P.W. van (1991). Haalbaarheidsonderzoek terugdringing lozing koper en zink uit woningen. Rapportnr. 15581, Bouwcentrum Advies B.V., Rotterdam.
- Paardekooper, E.M. & J. Ros (1996). Bron- en effectgericht milieubeleid in samenhang. Rapport nr. 601503001, RIVM, Bilthoven.
- PROMISE (1995). Uitdraai model PROMISE d.d. 20 december 1995.
- RIVM (1995). Achtergronden bij: Milieubalans 95. Samson H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- Senhorst, H.A.J. (1992). Statistische analyse van gehalte zware metalen in zuiveringsslib. RIZA-rapport, Lelystad.

- Tielemans, M.W.M., J.W.F. Spiering & H. Brink (1995). Ontharding Scheveningen (DZH): succesvolle vermindering lood- en koperafgifte aan drinkwater. *H<sub>2</sub>O* 28, 646 - 649.
- Tubbing, D., R. Cleven, W. Verweij, C. Daane & A. Hoegee (1996). Chemical speciation and ecotoxicity of copper on bacterial communities in the River Meuse: quantifying the *Pollution Induced Community Tolerance*. In voorbereiding.
- Verstappen, G., C. Quarles van Ufford, J.A. Annema, J. Slootweg & J.G. Elzenga (1995). PROMISE. Een scenariomodel voor de berekening van de belasting van het oppervlaktewater (concept). RIZA, Lelystad; RIVM, Bilthoven.
- Verweij, W. (1992). Lood in drinkwater. De consequenties van een lagere norm. Rapport nr. 714301008, RIVM, Bilthoven.
- Verweij, W. (1993). Manual for the GEoCHEMical EQUilibrium model GECHEQ. Intern rapport 1990-9 (2<sup>e</sup> editie), Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Limnologie, Nieuwersluis.
- Verweij, W. (1996). Modelling the complexation of metals by organic matter. Intern document (in voorbereiding).
- VEWIN (diverse jaren). Waterleidingstatistiek VEWIN. VEWIN, Rijswijk.
- Voortman, A.J. (1994). De invloed van een mengzone benadering op lozingseisen. RIZA-werkdocument 94.112X. RIZA, Lelystad.
- VROM (1991). Stoffen en normen, overzicht van belangrijke stoffen en normen in het milieubeleid 1991 - 1992. Directoraat-Generaal Milieubeheer, Ministerie van VROM, Den Haag.