

# Evaluatierapport Röntgencontrastmiddelen



Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Rapport Nr. 187*



In het kader van de strategie voor de reductie van emissies van microverontreinigingen uit stedelijk en industrieel afvalwater worden er voor tien stofgroepen evaluatierapporten opgesteld met als doel de wetenschappelijke en technische feiten beknopt samen te vatten en te wijzen op bestaande kennislacunes. In de evaluatierapporten wordt er tevens een brede waaier van mogelijke maatregelen voorgesteld: van maatregelen aan de bron (bijv. toelating van stoffen, gebruiksrestricties) tot technische maatregelen in centrale zuiveringsinstallaties (bijv. toepassing van een extra zuiveringsstap). In het hoofdstuk "conclusie" van de evaluatierapporten worden de efficiëntste maatregelen genoemd die in het kader van een integrale strategie van de ICBR nader zullen worden getoetst. Deze maatregelen zijn nog geen aanbevelingen van de ICBR aan de lidstaten. Alle in de concluderende hoofdstukken genoemde maatregelen zal de ICBR namelijk op een rij zetten in een overzichtsrapport om bij de definitieve beoordeling rekening te kunnen houden met mogelijke synergie-effecten van maatregelen (effect van maatregelen op verschillende stofgroepen). De ICBR zal vervolgens op basis van de definitieve beoordeling van alle maatregelen aanbevelingen voor maatregelen vaststellen voor de lidstaten.

## **Colofon**

### **Uitgegeven door de**

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)  
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz, Duitsland  
Postbus 20 02 53, 56002 Koblenz, Duitsland  
Telefoon: +49-(0)261-94252-0, fax +49-(0)261-94252-52  
E-mail: sekretariat@iksr.de  
www.iksr.org

ISBN 3-935324-54-5

© IKSr-CIPR-ICBR 2011

# Evaluatierapport

## Röntgencontrastmiddelen

### 1. Inleiding

Röntgencontrastmiddelen worden gebruikt voor medische diagnose, omdat ze meer röntgenstralen absorberen dan normale zachte weefsels; het weefsel dat met contrastmiddelen is behandeld, wordt op deze manier zichtbaar gemaakt. Omdat de middelen na de toepassing zo goed als onveranderd worden uitgescheiden, kunnen ze in het afvalwater terecht komen.

In de onderhavige analyse worden uitsluitend jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen bekeken. Al jaren is bekend dat jodiumhoudende contrastmiddelen kunnen worden aangetroffen in alle delen van het aquatische milieu<sup>1</sup>.

Over andere röntgencontrastmiddelen zijn er tot dusver veel minder gegevens verzameld<sup>2</sup>. De jodiumhoudende contrastmiddelen die het vaakst en met de hoogste concentraties worden aangetroffen in het water en daarom hier als indicatorstof worden gebruikt, zijn: amidotrizoïnezuur/diatrizoaat, iopromid, iopamidol en iomeprol.

In 2001 is er in Duitsland tussen 42.000 kg/jaar (iopamidol) en 83.000 kg/jaar (iomeprol) verkocht, wat omgerekend neerkomt op een hoeveelheid van ca. 0,5 tot 1.0 gram per capita; recenter cijfermateriaal over iopromid laat een duidelijke toename zien.

Wat de emissieroutes betreft, moet er worden onderscheiden tussen röntgencontrastmiddelen die d.m.v. injectie (inspuiting) / infusie worden toegediend en via de urine worden uitgescheiden (bijv. iomeprol, iopromid, iopamidol) en röntgencontrastmiddelen die oraal (inname via de mond) of rectaal (oplossing voor rectaal gebruik) worden toegediend (amidotrizoïnezuur, joxitalaminezuur) en via het darmkanaal worden uitgescheiden. De maag-darmdiagnostica (amidotrizoïnezuur/diatrizoaat, joxitalaminezuur) zijn ionische, geïoniseerde contrastmiddelen. Intravasculair (in aders en slagaders) worden in Duitsland sinds 2000 uitsluitend niet-ionische, geïoniseerde contrastmiddelen geïnjecteerd (iopromid, iopamidol, iomeprol). Chemisch gezien verschillen ze van elkaar op grond van met name de zijketens en de fysisch-chemische eigenschappen (osmolaliteit, viscositeit, hydrofilie).

Gezien de grote consumptie en de stijgende trend in het verbruik, de oplosbaarheid, polariteit en stabiliteit van deze stoffen verbaast het niet dat ze kunnen worden aangetroffen in het oppervlaktewater, het grondwater (bijv. oeverfiltraat, verrijkt grondwater) en gedeeltelijk ook in het drinkwater. Gelet op het voorgaande is het zinvol om in het kader van een beoordeling van de waterkwaliteit aandacht te geven aan de groep van de röntgencontrastmiddelen. In tegenstelling tot therapeutische (genezende) medicijnen worden ze evenwel ontwikkeld als biologisch inactieve stoffen. Daarom wordt ook hun ecotoxicologische effect (giftigheid voor het ecosysteem) tot dusver als gering beschouwd. Desalniettemin heerst er in de drinkwatersector onbehagen over de frequente en toenemende aanwezigheid van deze stoffen in het drinkwater. Met de bestaande zuiveringsmethodes voor de bereiding van drinkwater kunnen ze doorgaans niet of niet volledig worden verwijderd. Bovendien is bekend dat er in bepaalde milieuomstandigheden, bijv. tijdens de biologische behandeling van afvalwater, oeverfiltratie of ozon-oxidatie, een groot aantal jodiumhoudende, organische omzettingen ontstaan waarvan de eigenschappen en toxiciteit (giftigheid) tot dusver nog onbekend zijn. Zo werden er tot nog toe bijvoorbeeld alleen al in microbiologische transformaties in totaal 46 omzettingen geteld.

---

<sup>1</sup> Ternes & Hirsch, 2000; Putschew & Jekel, 2006; Putschew et al., 2007

<sup>2</sup> Zo wordt er bijv. in het kader van de magneetresonantietomografie gebruik gemaakt van chelaten op basis van het toxische gadoliniumion. Nader onderzoek naar het voorkomen in de waterkringloop en het effect op het milieu van deze stoffen zou wenselijk zijn.

## 2. Probleemanalyse

Jodiumhoudende contrastmiddelen worden voortdurend aangetroffen in het oppervlaktewater; de concentraties kunnen gaan van enkele tientallen tot honderden nanogram (ng) tot meerdere microgram ( $\mu\text{g}$ ) per liter. De concentraties in de Rijn nemen geleidelijk toe van de Duits-Franse Bovenrijn tot de monding. Bij Bazel bedraagt de gemiddelde concentratie van de meeste jodiumhoudende contrastmiddelen nog minder dan  $0,1 \mu\text{g/l}$ . In de Nederrijn en de Rijndelta liggen de concentraties meestal tussen  $0,2$  en  $0,5 \mu\text{g/l}$ . De hoogste concentratie die in de Rijn is gemeten, bedroeg  $1,3 \mu\text{g/l}$ . In de zijrivieren van de Rijn (in Duitsland bijv. Emscher, Lippe, Ruhr, Sieg) kunnen er soms nog hogere concentraties worden genoteerd (afhankelijk van de stof: maxima tot  $10$  resp.  $30 \mu\text{g/l}$ ).

Van de dertien jodiumhoudende contrastmiddelen die worden besproken in het stofgegevensblad worden de vier bovengenoemde stoffen in relatief hoge concentraties aangetroffen in de hoofdstroom en de zijrivieren van de Rijn. Omdat ze daarenboven twee verschillende toepassingsgebieden vertegenwoordigen, zijn ze geschikt als indicatorstof (stof die plaatsvervangend voor een gehele stofgroep wordt bekeken).

De hoogste concentraties worden vastgesteld in

- de zijrivieren van de Rijn die worden gekenmerkt door een hoog aandeel (biologisch) gezuiverd stedelijk afvalwater en/of die zijn gelegen in een dichtbevolkt gebied; hoe meer ziekenhuizen in het stroomgebied en hoe hoger de gemiddelde leeftijd van de bevolking, hoe sterker het effect kan zijn, zoals bijv. in het Ruhr-Emschergebied;
- de zijrivieren van de Rijn of de riviertrajecten waarlangs producerende bedrijven zijn gevestigd;
- de Rijndelta.

M.b.t. de waterkwaliteit kan het volgende worden gezegd:

- Jodiumhoudende contrastmiddelen worden in het ruwwater van drinkwaterbedrijven en vaak ook in het drinkwater aangetroffen. Dit geldt met name voor de Duitse Nederrijn, de Rijndelta en een aantal zijrivieren van de Rijn. Omdat de stoffen zeer polair zijn, worden ze noch bij de oeverfiltratie, noch d.m.v. actieve koolfiltratie geadsorbeerd. Door biologische afbraakprocessen en door ozonoxidatie (behandeling met ozon, een sterk oxidatiemiddel) kan de concentratie gedeeltelijk worden verlaagd. Hierbij ontstaan evenwel veel jodiumhoudende, organische omzettingsproducten die op hun beurt dan weer kunnen worden gemeten in het drinkwater;
- De gemiddelde concentratie van een aantal jodiumhoudende contrastmiddelen in de wateren van het Rijnstroomgebied is soms duidelijk hoger dan de streefwaarde van de IAWR ( $0,1 \mu\text{g/l}$ ) en dan de streefwaarde voor drinkwaterhygiëne van de Duitse milieudienst (*Umweltbundesamt*, UBA)<sup>3</sup>. Ook de oriënteringswaarde voor de gezondheid (GOW) die de Duitse milieudienst voor jodiumhoudende contrastmiddelen heeft vastgesteld (UBA, 2008: GOW =  $1,0 \mu\text{g/l}$ ) wordt soms overschreden<sup>4</sup>. De hoeveelheid jodiumhoudende contrastmiddelen die via de drinkwaterroute kan worden ingenomen, ligt evenwel duidelijk onder de voor diagnostische doeleinden toegediende doses;

---

<sup>3</sup> De bandbreedte in de streefwaarde voor drinkwaterhygiëne die het UBA heeft vastgesteld voor jodiumhoudende contrastmiddelen ( $\leq 0,1$  tot  $< 1,0 \mu\text{g/l}$ ) kan worden verklaard door het feit dat de streefwaarde, gelet op het mogelijke ontstaan van toxicologisch relevante omzettingsproducten bij de oxidatieve drinkwaterproductie, nu eens hoger en dan weer lager moet kunnen zijn en uit voorzorg onder de GOW<sub>4</sub>-waarde (=  $1,0 \mu\text{g/l}$ ) moet liggen (UBA, 2008).

<sup>4</sup> De GOW is een preventieve waarde voor contrastmiddelen in drinkwater en drinkwaterbronnen, d.w.z. wateren waaruit ruwwater voor de drinkwaterproductie wordt gewonnen. Daarbij gaat het om een algemene preventieve waarde voor stoffen waarvan is aangetoond dat ze niet gentoxisch zijn en waarvoor gegevens over de orale toxiciteit, de immunotoxiciteit en de potentiële schade aan geslachtscellen geen aanleiding geven tot een lagere waarde dan  $1 \mu\text{g/l}$  (GOW<sub>4</sub>) (vgl. UBA, 2003). Als zodanig geldt de waarde ook voor componenten van sommen van stoffen met een gelijktijdig, vergelijkbaar effect.

- Volgens de Duitse milieudienst (UBA) is er geen ecotoxicologisch relevante informatie op basis waarvan milieukwaliteitsnormen kunnen worden afgeleid. Daarom zijn er voor jodiumhoudende contrastmiddelen noch milieukwaliteitsnormen (MKN's) noch voorstellen voor MKN's vastgesteld;
- Bewezen is dat de stoffen niet gentoxisch zijn (giftig voor het erfelijk materiaal) en evenmin potentieel neurotoxisch (giftig voor de zenuwen) of schadelijk voor de geslachtscellen;
- Er zijn tot dusver voor geen van de jodiumhoudende contrastmiddelen subchronische of chronische (levenslange) dierproeven uitgevoerd en er kunnen ook (nog) geen toelaatbare innamehoeveelheden voor levenslange blootstelling worden berekend.

De hier bekeken röntgencontrastmiddelen worden in het gehele Rijnstroomgebied aangetroffen. Door de aanwezigheid van deze middelen en van stofmengsels die deze middelen, andere stoffen en omzettingsproducten bevatten, kunnen er ongewenste effecten en chronische c.q. subchronische effecten optreden waarop vooraf – bijv. in het kader van de toelatingsprocedure – niet kan worden gewezen. Meer bepaald wordt in de Duitse Nederrijn, de Rijndelta en in een aantal zijrivieren de productie van drinkwater d.m.v. directe inname, oeverfiltratie of kunstmatige grondwateraanvulling bemoeilijkt en de selectie van geavanceerde zuiveringsmaatregelen (bijv. ozon-oxidatie) geconfronteerd met onzekerheden. Met het oog op de verbetering van de waterkwaliteit en de naleving van het standstill-principe zoals bepaald in de EU-KRW (artikel 4, lid 1 en artikel 7, lid 3) zijn er kosteneffectieve maatregelen nodig om te voorkomen dat de verontreiniging van de wateren met jodiumhoudende contrastmiddelen verder toeneemt en om de huidige concentraties te verlagen.

### 3. Analyse van de emissieroutes

In tegenstelling tot de meeste therapeutische medicijnen worden contrastmiddelen praktisch alleen in ziekenhuizen en radiologische centra toegediend en slechts een paar uur (maximaal 24 uur) later weer uitgescheiden. Daardoor zijn er, althans wat de patiënten betreft die ten minste nog een tijdje (een paar uur) na het onderzoek in het ziekenhuis of het radiologische centrum blijven, andere mogelijkheden om de emissie van deze stoffen naar de waterkringloop te verminderen of te voorkomen dan bij therapeutische medicijnen.

Jodiumhoudende contrastmiddelen komen over het geheel genomen meestal direct na hun toepassing via het afvalwater van ziekenhuizen, radiologische centra en huishoudens in het stedelijk afvalwater terecht.

Een klein percentage (ca. 1-3 %) van het stedelijk afvalwater geraakt direct in het oppervlaktewater, nl. als rioolwater bij regen via de overstorten uit het gemengd rioolstelsel wordt geloosd. Ook afvalwater van huishoudens die niet zijn aangesloten op het gemeentelijk riool (ca. 1-2 %) belandt direct in het oppervlaktewater. Meer dan 95% van het stedelijk afvalwater bereikt evenwel de rwzi's. In de huidige zuiveringscentrales met biologische behandeling is het verwijderingspercentage doorgaans laag (~8%; vgl. onderzoek in een rwzi van het Waterbedrijf Berlijn, 2005, 2006) of verschillend van stof tot stof<sup>5</sup>. Als gevolg daarvan bedraagt de concentratie van jodiumhoudende

---

<sup>5</sup> In een pilotproject in Lausanne (BAFU, 2010, nog niet gepubliceerd) zijn er voor de verschillende jodiumhoudende contrastmiddelen gemiddelde verwijderings- (c.q. omzettings-) percentages vastgesteld van 20-40% (zie tabel 1 in bijlage I). De "verwijderingspercentages" voor iopromidol, iopamidol, iohexol en iomeprol zijn evenwel afhankelijk van de slibleeftijd (Ternes, mondelinge mededeling). Bij amidotrizoïnezuur/diatrizoaat hebben Ternes et al. – onafhankelijk van de slibleeftijd – in geen enkele zuiveringsinstallatie verwijdering of omzetting waargenomen. Echter, in het proefstation in Regensburg (EAWAG/BAFU, 2009) is er precies voor amidotrizoïnezuur/diatrizoaat een biologisch verwijderingspercentage berekend van ~40% (+/- 39%), terwijl er voor de andere jodiumhoudende contrastmiddelen hoegenaamd geen biologisch verwijderingspercentage kon worden bepaald (waarschijnlijk als gevolg van een lage slibleeftijd). In principe blijft het zo dat biologische afbraak altijd leidt tot stabiele producten die kunnen terechtkomen in het grondwater en het drinkwater en dus problemen kunnen opleveren.

contrastmiddelen in het effluent van rwzi's tussen 0,02 en 165 µg/l; bij rwzi's met een verhoogd aandeel afvalwater van ziekenhuizen ligt de concentratie tussen 0,5 en >100 µg/l (ISA/RWTH Aken, IWW Mülheim, 2008; EAWAG/BAFU, 2009).

In het kader van een recenter, vergelijkend onderzoek van het LANUV NRW (11/2010, niet gepubliceerd) zijn in het effluent van een kleinere rwzi, die geen afvalwater van ziekenhuizen behandelt, ook aantoonbare (hoge) concentraties iopamidol (3,8 µg/l), iopromid (0,35 µg/l) en iomeprol (2,6 µg/l) aangetroffen. Als er sprake is van weinig verdunning kunnen de concentraties in rwzi-effluenten resulteren in hoge concentraties in kleine rivieren. In de Winkelbach in Hessen zijn bijvoorbeeld gehalten aan amidotrizoinezuur/diatrizaat gemeten tot 100 µg/l<sup>6</sup>.

De emissie vanuit directe industriële lozingen (van producerende bedrijven) verschilt van stof tot stof en is afhankelijk van de afvalwaterzuiveringsmaatregelen die worden toegepast in de bedrijven. In Noordrijn-Westfalen is het aandeel van de vrachten uit directe industriële lozingen voor iopromid in 2005 op maximaal ca. 10% geraamd (LANUV-gegevens: referentiejaar 2005); voor de andere onderzochte jodiumhoudende contrastmiddelen waren de percentages uit directe industriële lozingen onbeduidend. In het geheel wordt er thans uitgegaan van een aandeel van minder dan 10%.

Daarom kunnen rwzi's worden aangewezen als de belangrijkste emissieroute naar het oppervlaktewater. Als emissiebronnen zijn vooral ziekenhuizen, radiologische centra en, sporadisch, producerende bedrijven (die indirect of direct lozen) van belang. Het gedeelte dat door huishoudens worden geloosd, is als gevolg van de korte verblijftijd in het menselijke lichaam afhankelijk van de tijd die de patiënten in het ziekenhuis doorbrengen. In rwzi's met een bovengemiddeld aandeel afvalwater uit ziekenhuizen worden bovengemiddeld hoge concentraties en vrachten jodiumhoudende contrastmiddelen gemeten (vgl. ISA/RWTH Aken, IWW Mülheim, 2008). Van een even nauw verband tussen het aantal aangesloten inwoners en de geloosde vracht als bij veel therapeutische medicijnen kan daarom niet worden uitgegaan. Hiermee moet o.a. bij modelberekeningen, de beoordeling en eventueel prioritering van maatregelen rekening worden gehouden.

#### 4. Mogelijke maatregelen

Om de emissies van röntgencontrastmiddelen te minimaliseren, kunnen er op verschillende niveaus emissiereducerende maatregelen worden genomen:

- Maatregelen aan de bron;
- Voorlichting van het brede publiek en het vakpubliek
- Decentrale maatregelen
- Centrale maatregelen bij rwzi's;
- Herziening van meetprogramma's en beoordelingssystemen.

Hieronder worden de potentiële maatregelen nader gepreciseerd.

##### Maatregelen aan de bron

- Vermindering van de verontreiniging van het water door maatregelen bij de producenten (farmaceutische industrie):
  - uitgebreidere beoordeling van de milieueffecten bij de toelating;
  - verplicht nader onderzoek naar de effecten op het milieu door de producent, ook nadat het product op de markt is gebracht (geneesmiddelenbewaking): bijv. onderzoek naar het chronisch/subchronisch effect op waterorganismen, naar omzettingen producten, naar het gedrag bij de drinkwaterwinning en – productie;
  - ontwikkeling van beter biologisch afbreekbare röntgencontrastmiddelen door de producenten;

---

<sup>6</sup> Ternes and Hirsch, 2000

- toepassing van de beschikbare mogelijkheden voor recycling (verbranding met terugwinning van jodium), bijv. door gescheiden opvang van het afvalwater, concentratieverhoging en verbranding van de bijproducten. De bijproducten worden in een draaioven verbrand, met terugwinning van het jodium. Dit procedé wordt al toegepast in de firma Bayer-Schering (Bergkamen) en is daarom ook voor andere bedrijven eventueel direct beschikbaar. Gelet op de hoge c.q. stijgende handelsprijs van jodium is de terugwinning van deze stof (voor de producenten) thans rendabel. Omdat het aandeel jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen dat direct op het water wordt geloosd door de industrie over het geheel genomen relatief klein is, is het totale effect van maatregelen bij directe industriële emittenten slechts middelmatig tot gering (< 1-10%);
- toepassing van speciale maatregelen voor afvalwaterbehandeling (bijv. afvalwater in deelstromen; concentraat van ingezamelde urine): in de literatuur is beschreven dat bijv. iopromidhoudende urine succesvol kan worden behandeld d.m.v. reductieve dehalogenatie met ijzer (afscheiding van jodium); in tegenstelling tot bij ozon-oxidatie ontstaan hierbij geen jodiumhoudende organische omzettingsproducten (-> mineralisatie) (Putschew et al., 2007).

### **Voorlichting van het brede publiek en het vakpubliek**

Het brede publiek en het vakpubliek, vooral universiteiten, de farmaceutische industrie en het personeel van gezondheidsinstellingen – met name dokters, apothekers, verpleegkundigen – maar ook patiënten, moeten worden gewezen op de relevantie van jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen voor het milieu en op hun invloed op de drinkwaterproductie (productinformatie) en worden voorgelicht over de mogelijkheden voor recycling, milieuvriendelijke verwijdering c.q. inzameling en behandeling van afvalwater.

### **Decentrale maatregelen**

Als maatregel bij bedrijven die hun afvalwater direct lozen en als decentrale maatregel in ziekenhuizen en radiologische centra komen er verschillende oplossingen in aanmerking. De onderstaande methodes zijn al getest (in pilotinstallaties of in vergelijkbare toepassingen) en zouden daarom relatief snel en “breed” kunnen worden toegepast met een hoge effectiviteit voor het gehele Rijnstroomgebied:

#### In ziekenhuizen / radiologische centra:

Omdat röntgencontrastmiddelen minder dan 24 uur na toediening nagenoeg volledig worden uitgescheiden door de patiënt, ligt het voor de hand om ter vermindering van de hoeveelheid contrastmiddelen in het gemeentelijk afvalwater urinescheiding toe te passen.

- Maatregelen in ziekenhuizen / radiologische centra:
  - Behandeling van gescheiden ingezameld afvalwater of gescheiden behandeling van afvalwaterdeelstromen (ook hier is reductieve dehalogenatie geschikt) of creatie van punten waar de urine van behandelde patiënten wordt ingezameld; gescheiden inzameling van urine in de toiletten en verhoging van de concentratie van de urine (d.m.v. nanofiltratie) in ziekenhuizen. (Om hiervoor een draagvlak te creëren en de speciale toiletten en het systeem voor de inzameling van urine in zwang te brengen, moeten de patiënten worden voorgelicht. Het draagvlak bij dokters, ziekenhuispersoneel en patiënten blijkt goed te zijn (Waterbedrijf Berlijn, 2006)).
  - Daarnaast verdient het aanbeveling om systemen of centrale punten voor de inzameling van urineconcentraat te installeren (zie hieronder). Het concentraat kan met terugwinning van het jodium bijv. bij de producent worden verbrand.
  - Installatie van verbrandingstoiletten om ook de röntgencontrastmiddelen die via het maag-darmkanaal worden uitgescheiden onschadelijk te kunnen maken (zie hieronder).

- Urinezakjes kunnen als maatregel in ziekenhuizen en als “maatregel bij de patiënt” worden toegepast. Op die manier zou er ook rekening kunnen worden gehouden met de ambulante patiënten (BAFU, 2009).

Mogelijke techniek voor de verwijdering van de twee jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen die worden toegepast in het maag-darmkanaal (amidotrizoïnezuur/diatrizoaat, joxitalaminezuur) en voor de verwijdering van de jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen die worden uitgescheiden met de urine:

- Een procedé dat gebruik maakt van een zogenaamd “elektrisch verbrandingstoilet”. Deze toestellen voor de volledige en onschadelijke verwijdering van alle menselijke uitwerpselen zijn in Scandinavië zeer wijdverspreid. Daar worden ze, om het milieu te beschermen, gebruikt in afgelegen huizen, ook vakantiewoningen, die niet zijn aangesloten op de riolering. Ze zouden ook kunnen worden ingezet in radiologische centra of in vergelijkbare afdelingen in ziekenhuizen.
- De maatregel is direct beschikbaar en de uitwerpselen met jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen kunnen volledig en zonder schade worden verwijderd.
- Energiebehoefte: 1,0 – 2,0 kWh per toiletgebruik (informatie van de producent; Fritidstoa: förbränningstoilet; [www.fritidstoa.se](http://www.fritidstoa.se)).
- Gebruik tot dusver: voornamelijk in Noorwegen; gebruikelijk in de meeste alleenstaande huizen en vakantie- en vissershuisjes langs de fjorden.

In ziekenhuizen is het systeem tot nog toe vrijwel onbekend (DWA, in voorbereiding). Het gebruik tot dusver toont de eenvoud van en het draagvlak voor het systeem aan. Het energieverbruik wordt, rekening houdend met de energiebesparing op de zuivering van het afvalwater, als matig tot gering ingeschat. (Ook hier moet er evenwel op worden gewezen dat zowel het haalbare effect als de rentabiliteit geval per geval afhangen van de vraag of en hoe lang de patiënten na de diagnose doorgaans in het ziekenhuis of het radiologische centrum blijven en welke aanpassingen er nodig zijn (van organisatorische of eventueel bouwkundige aard).

#### Bij de bereiding (ziekenhuisapotheken) en tijdens of na de toepassing:

- Voorkomen van resthoeveelheden of gescheiden verwijdering van resthoeveelheden bij de preparatie en de toepassing. Hierover moeten dokters, farmaceutisch, geneeskundig, technisch en verzorgend personeel worden voorgelicht.

#### Hiermee gepaard gaande maatregelen in de Rijnsoeverstaten (of bijv. in de Duitse deelstaten):

- Creatie van centrale inzamelpunten per Rijnsoeverstaat (of per Duitse deelstaat) met een verzameltank voor de primaire urine, een nanofilterinstallatie voor concentratieverhoging en een verzameltank voor het jodiumhoudende concentraat.
- Het jodiumhoudende concentraat kan, zoals hierboven is vermeld, met terugwinning van het recyclingproduct jodium worden verbrand (daardoor ontstaan er voor de verwijdering geen of slechts zeer lage kosten).

De maatregel is doeltreffend voor jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen die d.m.v. injectie/infusie worden toegediend en via de urine worden uitgescheiden, maar niet voor jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen die via het maag-darmkanaal worden uitgescheiden (amidotrizoïnezuur/diatrizoaat, joxitalaminezuur). Voor de eerstgenoemde categorie is het haalbare effect groot (> 50%), de benodigde tijd gering (< 5 jaar) en de rentabiliteit goed (dankzij de mogelijkheid tot recyclen). Er moet evenwel op worden gewezen dat zowel het haalbare effect als de rentabiliteit geval per geval afhangen van de tijd die de patiënten na de diagnose gewoonlijk in het ziekenhuis of het radiologische centrum blijven en welke aanpassingen er nodig zijn (van organisatorische of eventueel bouwkundige aard).



### Methodes voor de behandeling van concentraten (bij de producent / centraal / in ziekenhuizen):

Bij de behandeling van afvalwater in deelstromen (bijv. gescheiden ingezamelde urine, concentraten) is, zoals hierboven is aangegeven, mineralisatie van de jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen mogelijk door middel van reductieve dehalogenatie met elementair ijzer. In de literatuur is beschreven dat daarbij in tegenstelling tot bij ozon-oxidatie (en andere methodes) geen jodiumhoudende, organische omzettingsproducten ontstaan en dat het bereikte c.q. haalbare verwijderingspercentage hoog is (> 90%; vgl. Putschew et al., 2007). De methode is bovendien al met succes toegepast voor de terugwinning van jodium (Waterbedrijf Berlijn, 2006).

Voor de verwijdering van jodiumhoudende contrastmiddelen uit afvalwaterstromen kan er ook gebruik worden gemaakt van nanofiltratie (zeeftechniek die deeltjes van 10 tot 1 miljardste meter tegenhoudt) of omgekeerde osmose.

### Decentrale methodes voor de gerichte behandeling van afvalwater van ziekenhuizen:

In het kader van een pilotproject in het districtsziekenhuis Waldbröl (RWTH, 2009) zijn de stappen voor de geavanceerde zuivering van afvalwater (ozon-oxidatie (1,02 mg O<sub>3</sub>/mg DOC) en actieve koolfiltratie (AKF)) onderling vergeleken en beoordeeld ten aanzien van hun zuiveringsrendement. Bij toepassing van AKF bedroeg het gemiddelde verwijderingspercentage voor diatrizoaat ca. 75% en voor iopamidol ca. 82%. Bij toepassing van ozon-oxidatie was er sprake van een gemiddelde "verwijdering" (hier: afbraak/omzetting) van iopamidol van ca. 60%; voor diatrizoaat kon er geen verwijderingspercentage worden bepaald (de concentratie in het influent was soms lager dan de concentratie in het effluent).

In het kantonale ziekenhuis Liestal (BAFU, 2009) is door middel van variantenvergelijking onderzocht hoe microverontreinigingen van het ziekenhuis zo efficiënt mogelijk kunnen worden verwijderd. Als vertegenwoordiger van de jodiumhoudende contrastmiddelen is de stof iobitrol genomen. Onderzocht werden:

1. Maatregelen op de rwzi door toepassing van
  - a) ozon-oxidatie en
  - b) actieve kool in poedervorm;
2. Een aparte zuiveringsinstallatie voor het kantonale ziekenhuis Liestal;
3. Uitrusting van het kantonale ziekenhuis Liestal met vacuümtoiletten en verbranding van het slib of afvalverbrandingsinstallatie;
4. Maatregelen op het niveau van de patiënt door toepassing van urinezakjes.

Hierbij kon worden aangetoond dat voor jodiumhoudende contrastmiddelen de maatregel op het niveau van de patiënt het beste resultaat oplevert. Deze maatregel bracht het er zowel wat verwijderbare vracht als wat kosten-batenverhouding betreft beter van af dan de andere varianten.

De maatregelen in het ziekenhuis – een eigen zuiveringsinstallatie of uitrusting met vacuümtoiletten – hebben een kosten-batenverhouding in de orde van grootte van de maatregelen op het niveau van rwzi's. Hun nadeel ten opzichte van maatregelen op het niveau van de patiënt (urinezakjes) is dat jodiumhoudende contrastmiddelen die worden uitgescheiden door ambulante patiënten niet worden meegenomen.

### **Centrale maatregelen bij rwzi's**

Hoewel jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen voor het overgrote deel (~90%) via rwzi's in het water terechtkomen, is er met geavanceerde zuiveringsmaatregelen in (een selectie van) waterzuiveringsinstallaties (bijv. ozon-oxidatie, actieve koolfiltratie) een per contrastmiddel verschillende, maar over het geheel genomen onbevredigende reductie mogelijk. Echter, de mogelijke decentrale maatregelen en maatregelen aan de bron zouden kunnen worden aangevuld met geavanceerde centrale maatregelen.

De circa 3.200 rwzi's in het stroomgebied van de Rijn hebben een totale ontwerpcapaciteit van minstens 98 miljoen i.e. Van deze rwzi's beschikken er 191 (d.w.z. 6% van het totaal) over een ontwerpcapaciteit groter dan 100.000 i.e.; deze rwzi's zijn goed voor meer dan de helft van de totale zuiveringscapaciteit (54%) in het

Rijnstroomgebied<sup>7</sup>. Door deze 191 rwzi's uit te breiden met de bovengenoemde geavanceerde zuiveringsmethodes zouden de emissies van organische microverontreinigingen uit stedelijk en industrieel afvalwater met minstens 30% kunnen worden gereduceerd.

De emissie van röntgencontrastmiddelen kan daarbij, afhankelijk van het type zuiveringsmethode (actieve koolfiltratie, ozon-oxidatie of een combinatie van beide methodes), slechts in beperkte mate worden verlaagd. Het zuiveringsrendement verschilt van stof tot stof en in het gunstigste geval kan de vracht jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen in het Rijnstroomgebied hierdoor met <10% tot hoogstens ~30% worden gereduceerd. In een pilotproject in Lausanne (zie tabel 1 in bijlage I) is onlangs 10-14% reductie vastgesteld. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat er in het geval van ozon-oxidatie niet kan worden gesproken van "verwijdering" (zie hierboven), omdat er omzettingproducten ontstaan. Daarenboven is bij de toepassing van actieve kool alleen reductie mogelijk als er gebruik wordt gemaakt van verse actieve kool, aangezien jodiumhoudende contrastmiddelen zeer polair zijn (hierdoor is het procedé amper economisch). Ook moet worden bedacht dat de geëmitteerde vrachten jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen zich niet lineair verhouden tot de inwonerequivalenten, omdat jodiumhoudende contrastmiddelen slechts gedeeltelijk via huishoudens en voornamelijk via het afvalwater van ziekenhuizen worden geloosd. Om de emissie van jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen doeltreffender te reduceren, zou de selectie van de zuiveringsinstallaties daarom moeten worden aangepast, rekening houden met het afvalwater van ziekenhuizen.

Hoewel de totale chemische belasting met organische spoorelementen in de Duitse Nederrijn en de Rijndelta wel zou kunnen worden verminderd door deze maatregelen, kunnen de IAWR-streefwaarde voor röntgencontrastmiddelen (0,1 µg/l) en de voor contrastmiddelen afgeleide streefwaarde voor drinkwaterhygiëne van de Duitse Milieudienst (UBA) hiermee niet worden bereikt en/of nageleefd in de Rijn en zijn zijrivieren. Immers, bij deze waarden wordt er ook gekeken naar omzettingproducten en het effect van mengsels van stoffen met een vergelijkbare werking. Specifiek voor röntgencontrastmiddelen zijn uiteindelijk alleen maatregelen aan de bron, maatregelen bij de patiënt en decentrale maatregelen een zinvolle oplossing.

Dat neemt niet weg dat de bescherming van de drinkwaterwinning aan de hoofdstroom van de Rijn, vooral de Duitse Nederrijn en de Rijndelta, en aan een aantal zijrivieren van de Rijn in het geheel zou kunnen worden verbeterd door centrale maatregelen op zuiveringsinstallaties, ook met het oog op röntgencontrastmiddelen. Bij de beoordeling van de rentabiliteit moet er tevens rekening worden gehouden met de baten voor andere stoffen/stofgroepen (bijv. voor andere humane geneesmiddelen, biociden).

Over het effect en de rendabiliteit van verschillende geavanceerde afvalwaterbehandelingsmethodes zijn al resultaten beschikbaar van pilotonderzoeken in rwzi's en een zuiveringsinstallatie van een ziekenhuis (zie bijlage I). Met deze resultaten kan al rekening worden gehouden bij de identificatie van de efficiëntste noodzakelijke maatregelen (vgl. hoofdstuk 5).

### **Herziening van meetprogramma's en beoordelingssystemen**

Uit de analyse van de beschikbare informatie vloeien de volgende opmerkingen voort in verband met de vormgeving van meetprogramma's en de verdere ontwikkeling van beoordelingssystemen:

---

7

Rapportage aan de Europese Commissie inzake de resultaten van de inventarisatie conform richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid (artikel 15 (2), 1° gedachtestreepje) (deel A = overkoepelend deel). Stand: 18 maart 2005, Coördineringscomité Rijn (CC 02-05d rev. 18.03.05).

1. Er zijn geen bindende kwaliteitscriteria voor de beoordeling van de ecologische/chemische toestand en voor de bescherming van de drinkwatervoorraad.  
Deze zouden zo nodig moeten worden afgeleid op een daarvoor geschikt institutioneel niveau.
2. Bij de beoordeling van de ecologische en de chemische toestand van de wateren in het kader van de Kaderrichtlijn Water (EU-lidstaten) en in het kader van de waterbeschermingswetgeving (Zwitserland) wordt er tot dusver geen rekening gehouden met de genoemde stoffen.
3. Met betrekking tot de hier genoemde jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen is er al genoeg informatie beschikbaar over meetgegevens en interacties, maar niet over chronische/subchronische effecten van deze stoffen en hun metabolieten.
4. Voor andere (ook niet-jodiumhoudende) röntgencontrastmiddelen zijn er tot dusver geen representatieve meetgegevens en ontbreekt er een systematische inschatting van de toegediende en geëmitteerde hoeveelheden, de relevantie voor het milieu en de toxiciteit.
5. In het algemeen zou er bij de herziening van de beoordelingssystemen rekening kunnen worden gehouden met de volgende elementen:
  - beoordeling van de relevantie voor het milieu van de stof/stofgroep in kwestie d.m.v. stofbalansen, eenvoudige modelramingen, ontwikkeling en verwerking van de informatie uit kadasters van emittenten (hier: ziekenhuizen, radiologische centra, dokterspraktijken, producenten), eventuele informatie uit toelatingsprocedures (EMA), verkoopcijfers en/of geconsumeerde hoeveelheden; vergelijkbare methodes zoals<sup>8</sup>;
  - beoordeling van de relevantie voor het milieu d.m.v. beoordeling en/of classificatie van de stofeigenschappen, bijv. structuur/activiteit-relaties;
  - resultaten van nieuwe, in wetenschappelijk onderzoek ontwikkelde analysemethoden<sup>9</sup>.

## 5. Conclusie

Samenvatting van de efficiëntste maatregelen, die verder moeten worden uitgewerkt en getoetst.

- **Maatregelen aan de bron** bij de vervaardiging en toelating van producten ter reductie van de verontreiniging van de wateren: uitgebreidere beoordeling van de milieueffecten (voor en na de toelating) van middelen voor medische diagnose, inclusief hun metabolieten en omzettingsproducten; systemen ter stimulatie van de ontwikkeling van milieuvriendelijkere alternatieve producten;
- **Voorlichting van het brede publiek en het vakpubliek** over de milieurelevantie en de effecten van röntgencontrastmiddelen op de drinkwaterproductie in het Rijnstroomgebied; etiketteringsplicht voor röntgencontrastmiddelen die (drink)waterrelevante effecten vertonen of waarvan dit te verwachten valt; informatie over de beschikbare mogelijkheden voor correcte toepassing, verwijdering, zuivering, recycling en terugwinning; vooral voor jodiumhoudende contrastmiddelen konden veelbelovende opties worden aangetoond;
- **Decentrale maatregelen:** behandeling van afvalwater of afvalwaterstromen in productiebedrijven of gezondheidsinstellingen die hun afvalwater ofwel direct ofwel indirect via rwzi's op het oppervlaktewater lozen en verantwoordelijk zijn voor een significant aandeel van de vracht in de rwzi's. Jodiumhoudende contrastmiddelen worden volgens de beschikbare gegevens grotendeels in ziekenhuizen en radiologische centra geëmitteerd (dit is evenwel geval per geval afhankelijk van hoe lang de patiënt daar verblijft) en kunnen in de uren na de

---

<sup>8</sup> bijv. Ort et al. (2009); Keller et al. (2007); Reemstma et al. (2006)

<sup>9</sup> Singer, H., Huntscha, S., Hollender, J., Mazacek, J. 2008.

toepassing gericht worden ingezameld en gescheiden behandeld. Daarom hebben bij jodiumhoudende contrastmiddelen maatregelen aan de bron, decentrale maatregelen en "maatregelen bij de patiënt" een bijzondere prioriteit. Voor deze contrastmiddelen konden doeltreffende, in sommige gevallen reeds beproefde en rendabele mogelijkheden worden aangetoond (uitgaande van de eerste inschatting die is uitgevoerd op basis van de mogelijkheden voor de terugwinning van jodium). De staten in het Rijnstroomgebied zouden de uitvoering van de efficiëntste noodzakelijke maatregelen kunnen sturen door stimulerende systemen toe te passen of door aan emissiezijde minimumeisen te stellen;

- **Centrale maatregelen:** voor jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen wordt de mogelijke reductie, afhankelijk van de stof en de toegepaste methode, gering geacht, hoogstens < 10 % tot 30% (gelet op de huidige emissiesituatie). De ervaringen van installaties die geavanceerde zuiveringsmethodes ter verwijdering van microverontreinigingen gebruiken (bijv. ozon-oxidatie, toepassing van actieve kool) moeten worden verzameld en geëvalueerd, zodat ze bruikbaar zijn voor besluitvorming in de toekomst;
- **Aanpassing van meetprogramma's:** voor metabolieten van de hier genoemde röntgencontrastmiddelen en voor andere (ook niet-jodiumhoudende) röntgencontrastmiddelen zijn er tot dusver weinig representatieve gegevens.
- **Aanpassing van beoordelingssystemen:** de kennisbasis voor de beoordeling van de effecten van de hier genoemde röntgencontrastmiddelen is goed, maar dat geldt niet voor metabolieten en andere röntgencontrastmiddelen. Met röntgencontrastmiddelen is tot dusver geen rekening gehouden in de wetgeving. De ontwikkeling van beoordelingssystemen zou moeten gebeuren op een daarvoor geschikt institutioneel niveau.

## Vergelijking van verschillende methodes voor afvalwaterbehandeling in zuiveringsinstallaties

Voor de afbraak/omzetting van röntgencontrastmiddelen in het afvalwater door middel van ozon-oxidatie zijn er verschillende resultaten. Bij het röntgencontrastmiddel diatrizaat, het zout van amidotrizoïnezuur, is een "verwijdering" van 13% gehaald (TERNES ET AL., 2003). In een ander onderzoek werd een totaal afbraakpercentage van slechts 10% waargenomen (FAHLENKAMP ET AL., 2006). De niet-ionische contrastmiddelen vertoonden hier evenwel een significant betere verwijdering (iopromid: 97 %, iopamidol: 50-60 %, iomeprol: 60 %) (FAHLENKAMP ET AL., 2006); Ternes et al. stelden daarentegen slechts een verwijdering van 0-36% vast (TERNES ET AL., 2003). M.b.t. de toepassing in het afvalwater van *actieve kool in granulaatvorm* werd in het kader van het project Poseidon bij de röntgencontrastmiddelen iopromid en iopamidol een verwijdering van 50-90% geconstateerd (TERNES ET AL., 2004); bij diatrizaat werd hier slechts een verwijdering van 10-50% bereikt. Ook in het kader van semitechnisch onderzoek in een waterzuiveringsinstallatie met een behandelingsstap voor adsorptie aan actieve kool, bestaande uit een contactreactor en een sedimentatiebekken, waren er duidelijke verschillen: de niet-ionische contrastmiddelen iomeprol, iopromid en iohexol werden voor ca. 70% verwijderd, iopamidol kon slechts voor amper 50% worden verwijderd en het ionische amidotrizoïnezuur vertoonde met ongeveer 10% een zeer slechte verwijdering (METZGER ET AL., 2005, 2007 en 2007a, in: ISA/RWTH Aken & IWW Mülheim, 2008).

In een nog niet gepubliceerd pilotproject (BAFU, pilotproject rwzi Vidy Lausanne 2010) is het gemiddelde verwijderingspercentage van biologische behandeling, ozon-oxidatie en actieve kool in poedervorm bepaald voor verschillende jodiumhoudende contrastmiddelen. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in tabel 1.

**Tabel 1: Resultaten van het pilotproject rwzi Vidy Lausanne**

	Verwijdering biologie*		Verwijdering ozon-oxidatie*		Verwijdering actieve kool in poedervorm	
	Gemiddelde	SD	Gemiddelde	SD	Gemiddelde	SD
<b>diatrizaat en jothalaminezuur**</b>	<b>24%</b>	22%	<b>18%</b>	16%	<b>15%</b>	12%
<b>iohexol</b>	<b>42%</b>	24%	<b>42%</b>	15%	<b>48%</b>	27%
<b>iomeprol</b>	<b>28%</b>	24%	<b>44%</b>	13%	<b>50%</b>	25%
<b>iopamidol</b>	<b>20%</b>	15%	<b>42%</b>	15%	<b>44%</b>	26%
<b>iopromid</b>	<b>30%</b>	28%	<b>38%</b>	19%	<b>43%</b>	30%

\* Hier is geen sprake van echte verwijdering, maar alleen van omzetting van de jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen.

\*\* Som van diatrizaat en jothalaminezuur, omdat deze stoffen in het bekeken onderzoek analytisch niet te onderscheiden zijn.

Behalve bij het gebruik van verse actieve kool in poedervorm, waarmee "echte" verwijdering mogelijk is, ontstaan er bij de verschillende methodes voor afvalwaterbehandeling (biologische zuivering, membraantechnologie, AKF, ozon-oxidatie) altijd stabiele, jodiumhoudende, organische omzettingproducten (vgl. Kormos et al., 2010) die in het grondwater/drinkwater kunnen terechtkomen of andere problemen kunnen opleveren. Hiermee moet bij de beoordeling van de resultaten ook rekening worden gehouden.

Onderzoeken naar de rentabiliteit van de verschillende methodes:

In Noordrijn-Westfalen vinden thans kosten-batenanalyses plaats van de verwijdering van jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen (en andere stoffen) met verschillende geavanceerde behandelingsmethodes in verschillende zuiveringsinstallaties (zuiveringsinstallatie van het ziekenhuis Marienhospital in Gelsenkirchen, rwzi van Bad Sassendorf, zuiveringsinstallatie Schwerte, zuiveringsinstallatie Hünxe; districtsziekenhuis Waldbröl) (Mertsch, 2009; Teichgräber 2009). De resultaten van deze onderzoeken kunnen ook worden gebruikt voor de besluitvorming in de toekomst.

**Bibliografie**

BAFU (2009): Kantonsspital Liestal - Abwasserkonzept bezüglich organischer Spurenstoffe.

BAFU 2009. <http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/06387/index.html?lang=de>

BAFU, Pilotversuch STEP Vidy Lausanne 2010 (nog niet gepubliceerd).

Berliner Wasserbetriebe (2005-2006): Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern; Abschlussbericht Projektphase 1 – April 2005; Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern - Phase 2: Praktische Durchführung Abschlussbericht Mai 2006. Kompetenzzentrum Wasser, Berlin.

Berliner Wasserbetriebe (2006): Leitfaden für die Sammlung von Urin von Patienten in Krankenhäusern die mit jodorganischen Röntgenkontrastmitteln radiologisch untersucht wurden. Kompetenzzentrum Wasser, Berlin.

DWA (in Bearbeitung): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Merkblatt DWA M-775: Abwasser aus Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen Arbeitsblatt DWA-A 790.  
<http://www.dwa.de/dwa/shop/shop.nsf/shopRessource?openform&linkid=bearbeitung&navindex=080000>

EAWAG / BAFU (2009): Ozonung von gereinigtem Abwasser - Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf. EAWAG / BAFU 2009.

FAHLENKAMP, H.; NÖTHE, T.; NOWOTNY, N. (2007): Spurenstoffelimination im Ablauf kommunaler Kläranlagen – Ansätze, Reaktionsgrundlagen, Wirkungen, Kosten. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 54, Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum, für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, ISSN 0178-0980

Fritidstoa: Herstellerangaben zur Verbrennungstoilette „Cinderella“; Fritidstoa förbränningsoaletter. Web: [www.fritidstoa.se](http://www.fritidstoa.se)

Institut für Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen (2009): Pilotprojekt Kreiskrankenhaus Waldbröl. Eliminierung von Spurenstoffen aus Krankenhausabwässern mit Membrantechnik und weitergehenden Behandlungsverfahren.  
<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussberichtpilotprojektw.pdf>

Keller et al. (2007). Environmental Pollution. 148;

Kormos JL, Schulz M, Kohler H-P, Ternes T (2010): Biotransformation of Selected Iodinated X-ray Contrast Media and Characterization of Microbial Transformation Pathways. Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 4998-5007

Mertsch V. (2009): Mikroschadstoffe in der Umwelt – Maßnahmen an der Quelle. MUNLV 2009. Internetpräsentation:  
[http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/pdf/fachkolloquium/fk\\_10\\_mertsch.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/pdf/fachkolloquium/fk_10_mertsch.pdf)

Ort et al. (2009). Environmental Science and Technology 43(9)

Putschew, A., Miehe U., Tellez A. s. & M. Jekel (2007): Ozonation and reductive deiodination of iopromide to reduce the environmental burden of iodinated X-ray contrast media. Water Sci Technol., Vol 56, No 11. pp 159-165.

Reemstma et al. (2006) Environmental Science and Technology 40(17)

RWTH/ISA Aachen & IWW Mülheim (2008): Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunale Kläranlagen – Güte- und Kostenbetrachtungen; Forschungsvorhaben des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) RWTH Aachen und des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wasserforschung gGmbH (IWW) gefördert durch das MUNLV NRW; 2008. Web: [http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abschlussbericht\\_ruhr.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abschlussbericht_ruhr.pdf)

Singer, H., Huntscha, S., Hollender, J., Mazacek, J. 2008. Multikomponenten-Screening für den Rhein bei Basel. Bericht der Eawag, Dübendorf, Schweiz

Stieber, M., Putschew A. & M. Jekel (2008): Reductive dehalogenation of iopromide by zero-valent iron. Water Science & Technology. WST 57.12. 2008

Teichgräber B. (2009): Maßnahmen zum Aufbau technologischer Kompetenz Spurenstoffe. Internetpräsentation des EG/LV beim Institut zur Förderung der Wassergüte- und Wassermengenwirtschaft e.F., IfWW. Internet: [http://www.ifww-nrw.de/dl/FK20090505\\_07.pdf](http://www.ifww-nrw.de/dl/FK20090505_07.pdf)

TERNES, T. A.; STÜBER, J.; HERMANN, N.; MCDOWELL, D.; RIED, A.; KAMPMANN, M.; TEISER, B. (2003): Ozonation: A tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater. Water Research, Vol. 37/8, April 2003, Pages 1976-1982

TERNES, T. A.; JANEX-HABIBI, M.-L.; KNACKER, T.; KREUZINGER, N.; SIEGRIST, H. (2004): Assessment of Technologies for the Removal of Pharamceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse. (Poseidon), Contract No. EVK1-CT-2000-00047, Report, August 2004

Ternes, T. A., Bonerz M, Herrmann N, Teiser B, Andersen HR (2006): Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany (2007): An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances. Chemosphere 66 (2007) 894-904

Ternes, T. A.; Hirsch, R. Occurrence and behaviour of iodinated contrast media in the aquatic environment, Environ. Sci. Technol. 34, 2741 – 2748 (2000)

UBA (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht; Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt; Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 46:pp 249-251; 2003

UBA (2008): Öffentliche Trinkwasserversorgung – Bewertung organischer Mikroverunreinigungen, Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt, Schreiben vom 14.03.2008 an das MUNLV NRW



## **Stofgegevensblad röntgencontrastmiddelen**

Het gegevensblad heeft de volgende structuur:

1. Algemene stofgegevens
2. Basisschema voor de stofstroomanalyse
3. Emissie (productie en gebruik)
4. Immissie (gemeten concentraties en vrachten, berekende vrachten)
5. Beoordelingscriteria (kwaliteitscriteria)
6. Strategie-aanpak (mogelijke reductiemaatregelen)

## röntgencontrastmiddelen

### 1. Algemene stofgegevens

**Tabel 1:** Algemene stofgegevens

Naam van de stof	CAS-nr.	Handelsnaam (voorbeelden)	Gebruik	Bron
<b>amidotrizoïnezuur</b> -Na -Meglumine	117-96-4 737-31-5 131-49-7	Gastrografin, Gastrolux, Peritrast, Urolux [Schering]	Orale toediening / oplossing voor rectaal gebruik  * Het BfArM heeft de toelating van de ionische, sterk hypertoonische contrastmiddelen diatrizoaat (= amidotrizoaat) en joxitalamaat voor intravasaal gebruik per 30 september 2000 ingetrokken.	"Rode lijst 2007" en Duits instituut voor geneesmiddelen en medische hulpmiddelen (BfArM), beslissing van 27 juni 2000 (zie hieronder)
<b>iopamidol</b>	60166-93-0 62883-00-5	Iopathek, Solutrast, Unilux [Altana / Nycomed]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
<b>iopromid</b>	73334-07-3	Ultravist [Schering]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
iobitridol	136949-58-1	Xenetix [Guerbet]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
iohexol	66108-95-0	Accupaque, Omnipaque [GE Healthcare Buchler]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
iomeprol	78649-41-9	Imeron [Altana / Nycomed]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"

Naam van de stof	CAS-nr.	Handelsnaam (voorbeelden)	Gebruik	Bron
joxitalaminezuur	28179-44-4	Telebrix [Guerbet]	Orale toediening / oplossing voor rectaal gebruik (niet parenteraal) * Het BfArM heeft de toelating van de ionische, sterk hypertoonische contrastmiddelen diatrizoaat (= amidotrizoaat) en joxitalamaat voor intravasaal gebruik per 30 september 2000 ingetrokken.	"Rode lijst 2007" en Duits instituut voor geneesmiddelen en medische hulpmiddelen (BfArM), beslissing van 27 juni 2000
iodixanol	92339-11-2	Visipaque [GE Healthcare Buchler]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
iosarcol	97702-82-4	Melitrast [Köhler]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
iotrolan	79770-24-4	Isovist [Schering]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
jotroxinezuur	51022-74-3	Biliscopin [Schering]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
joxaglinezuur	59017-64-0	Hexabrix [Guerbet]	Injectie / infusie	"Rode lijst 2007"
jopanzuur	96-83-3			Merck-index

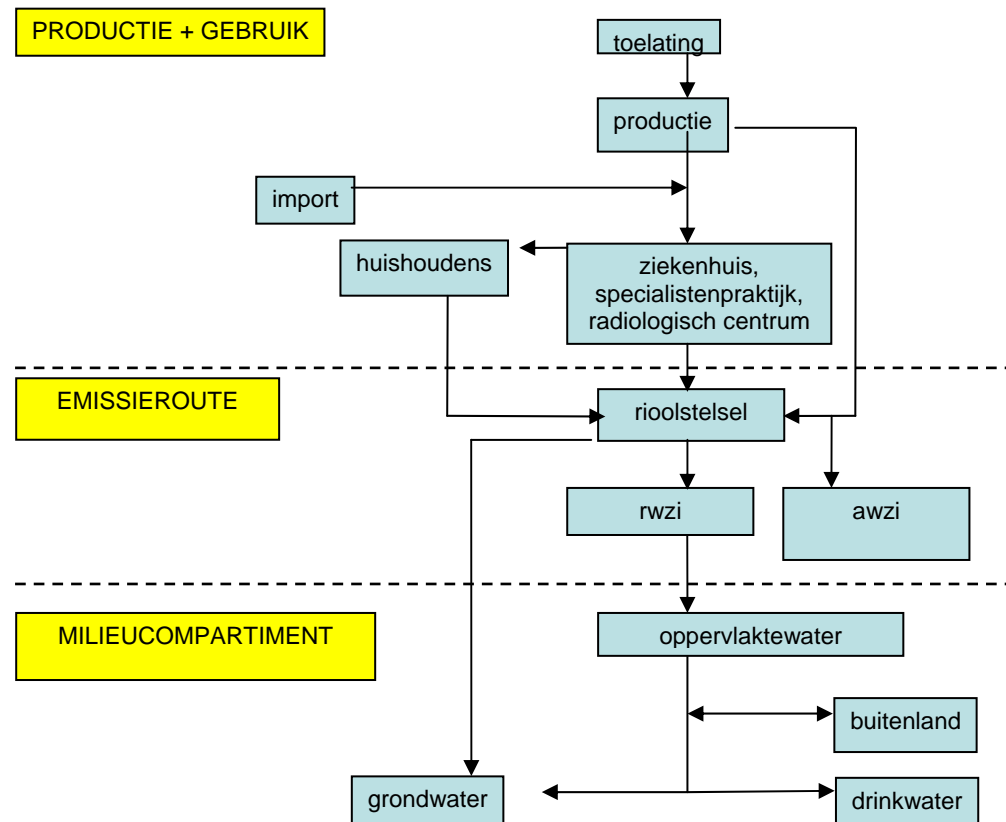
**Vet gedrukt:** als indicatorstof geselecteerd (zie evaluatierapport).

"Rode lijst" = geneesmiddelenregister voor Duitsland (inclusief EU-toelatingen)

Duits instituut voor geneesmiddelen en medische hulpmiddelen (BfArM), beslissing van 27 juni 2000

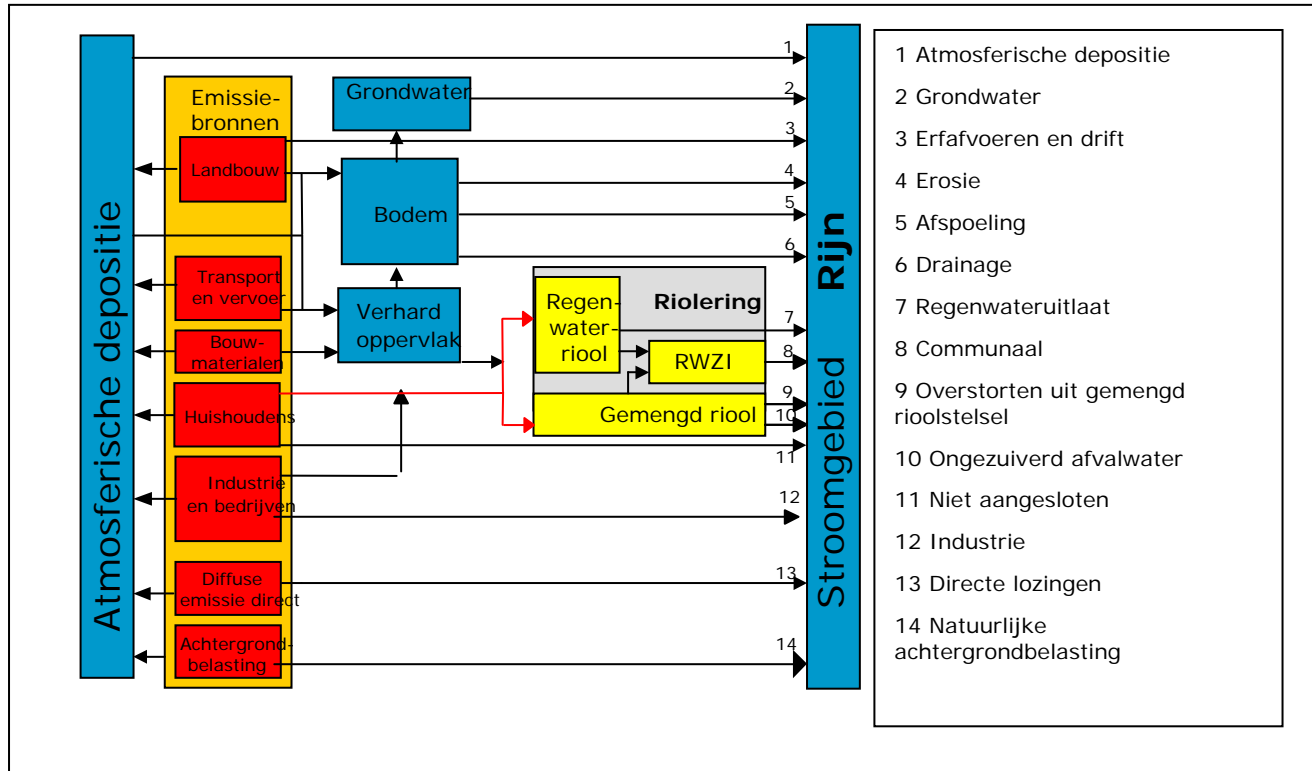
## 2. Basisschema voor de stofstroomanalyse

**Figuur 2.1:** Stofstroomanalyse röntgencontrastmiddelen



### 3. Emissie (productie en gebruik)

**Figuur 3.1:** Emissieroutes (de belangrijkste emissieroutes zijn rood gemarkeerd)



**Tabel 3.1:** In het Rijnstroomgebied geproduceerde hoeveelheden

Naam van de stof	AT	CH	DE	FR	LU	NL	Totaal	Bron
<b>Geproduceerde hoeveelheden (in kg/jaar)</b>								
Röntgencontrastmiddelen worden in het Rijnstroomgebied op verschillende locaties geproduceerd (vgl. "producerende bedrijven" in deze tabel). Informatie over geproduceerde hoeveelheden is niet beschikbaar.								
<b>Verkochte hoeveelheden (in kg/jaar)</b>								
amidotrizoïne zuur		n.v.t.	1999: 54.285 kg; 2001: 60.686,8 kg, 98% aan ziekenhuizen, de rest aan apotheken					CH: 1) D: 2)
iobitridol		2000: 2320 kg, 100% aan ziekenhuizen						CH: 1)
		2004: 3.806 kg, 100% aan ziekenhuizen						CH: 1)
iohexol		2000: 815 kg, 0,3% aan ziekenhuizen	1999: 8.053 kg					CH: 1) D: 2)
		2004: 4.620 kg, 100% aan ziekenhuizen						CH: 1)
iomeprol		2000: 154 kg, 100% aan ziekenhuizen	1999: 33.123 kg; 2001: 83.377 kg, 100% aan ziekenhuizen					CH: 1) D: 2)
		2004: 1.650 kg, 100% aan ziekenhuizen						CH: 1)
iopamidol		2000: 4.240 kg, 100% aan ziekenhuizen	1999: 28.709 kg; 2001: 42.994 kg (>97% is gebruikt in ziekenhuizen)					CH: 1) D: 2)
		2004: 2.740 kg, 100% aan ziekenhuizen						
iopromid		2000: 4.540 kg, 100% aan ziekenhuizen	1999: 64.934 kg; 2001: 64.055,5 kg, 99,6% aan ziekenhuizen, de rest aan apotheken					CH: 1) D: 2)
		2004: 6.933 kg, 100% aan ziekenhuizen*						

Naam van de stof	AT	CH	DE	FR	LU	NL	Totaal	Bron
joxitalamine-zuur		2000: 3.370 kg, 99% aan ziekenhuizen	1999: 8.895 kg					CH: 1) D: 2)
		2004: 3.630 kg, 99,5% aan ziekenhuizen						
ioversol			1999: 43.581 kg					D: 2)
iopentol			1999: 6.239 kg					D: 2)
<b>Aantal producerende bedrijven</b>								
amidotrizoïne zuur			1 (Bayer-Schering, in Bergkamen)					LANUV NRW
iomeprol	x (Nycomed)		2 (Altana / Nycomed in Konstanz en Unterschleißheim)					Rode lijst
iopamidol	x (Nycomed)		3 (Schering, Altana / Nycomed)					Rode lijst
iopromid			1 (Bayer-Schering, in Bergkamen)					LANUV NRW
iobitridol			1 (Guerbet GmbH, in Sulzbach i. Ts.)					Rode lijst
joxitalamine-zuur			1 (Guerbet GmbH, in Sulzbach i. Ts.)					Rode lijst
joxaglinezuur			1 (Guerbet GmbH, in Sulzbach i. Ts.)					Rode lijst
iodixanol			1 (GE Healthcare Buchler GmbH & Co. KG)					Rode lijst
iohexol			1 (GE Healthcare Buchler GmbH & Co. KG)					Rode lijst

**Bibliografie**

- 1) IMS Health (2005). Verkoopcijfers van farmaceutica in Zwitserland in 2000 en 2004.
- 2) BLAC (2003). Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz (UMK) am 19./20. November 2003 in Hamburg. (Hrsg. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Gesundheit im Auftrag des BLAC).
- 3) Duitsland: Volgens het eindrapport "*Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern*" ("Gescheiden opvang van jodiumhoudende, organische röntgencontrastmiddelen in ziekenhuizen" van het Waterbedrijf Berlijn, Berlijn, april 2005) wordt 50% van de contrastmiddelen voor röntgenonderzoek gebruikt in ziekenhuizen en 50% in dokterspraktijken (specialistenpraktijken, radiologische centra).

**Tabel 3.2:** In het Rijnstroomgebied gebruikte hoeveelheden

Naam van de stof	AT	CH	DE	FR	LU	NL	Totaal	Bron
<b>Gebruikte hoeveelheid per capita op nationaal niveau (in mg/jaar)</b>								
iopamidol		398						1) 2)
<b>Gebruikte hoeveelheid per capita in het Rijnstroomgebied (in kg/jaar)</b>								

**Bibliografie**

- 1) Schulte-Oehlmann, U, Oehlmann J, Püttmann W (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 168–179  
[http://www.startproject.de/downloads/UWSF\\_Schulte\\_Oehlmann\\_et\\_al\\_0807.pdf](http://www.startproject.de/downloads/UWSF_Schulte_Oehlmann_et_al_0807.pdf)
- 2) BAFU (2009). M. Schärer, M. Keusen, BAFU; C. Abbeglen, C. Götz, H. Singer, Eawag. Stoffflüsse Bodensee: Anwendung eines einfachen Stoffflussmodells. Bundesamt für Umwelt BAFU. 24-02-2009.



**Tabel 3.4:** Meetgegevens (in µg/l) voor de emissieroutes (of procentueel aandeel van de afzonderlijke emissieroutes, zie tabel 3.5)

amidotrizoïnezuur							
Emissieroute	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Atmosferische depositie (1)							
Grondwater (2)							
Erfafvoeren en drift (3)							
Erosie (4)							
Afspoeling (5)							
Drainage (6)							
Regenwateruitlaat (7)							
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	9	1	0,220	0,485	0,980	3,5	1 )
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	29	14	0,05	0,1	0,23	1,2	2 ) 3 ) 4 )
Overstorten uit gemengd rioolstelsel (9)							
Ongezuiverd afvalwater uit gemengd rioolstelsel (10)	21	7	0,1	0,28	0,46	2,3	2 ) 3 ) 4 )
Niet aangesloten (11)							
Directe lozingen vanuit de industrie (12)	2	0	18	50	50	82	5 )
Directe lozingen (13)							
Natuurlijke achtergrondbelasting (14)							

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

iopamidol							
Emissieroute	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Atmosferische depositie (1)							
Grondwater (2)							
Erfafvoeren en drift (3)							
Erosie (4)							
Afspoeling (5)							
Drainage (6)							
Regenwateruitlaat (7)							
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	29	29	0,05	0,05	0,05	0,05	2 ) 3 ) 4 )
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	12	0	0,017	0,12	0,355	1,8	1)
Overstorten uit gemengd rioolstelsel (9)							
Ongezuiverd afvalwater uit gemengd rioolstelsel (10)	21	21	0,1	0,1	0,1	0,1	2) 3) 4)
Niet aangesloten (11)							
Directe lozingen vanuit de industrie (12)	2	0	0,58	3,14	3,14	5,7	5)
Directe lozingen (13)							
Natuurlijke achtergrondbelasting (14)							

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

iopromid							
Emissieroute	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Atmosferische depositie (1)							
Grondwater (2)							
Erfafvoeren en drift (3)							
Erosie (4)							
Afspoeling (5)							
Drainage (6)							
Regenwateruitlaat (7)							
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	29	22	0,05	0,05	1,8	23	2) 3) 4)
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	10	0	0,12	0,835	1,33	4,2	1)
Overstorten uit gemengd rioolstelsel (9)							
Ongezuiverd afvalwater uit gemengd rioolstelsel (10)	21	14	0,1	0,1	9,5	76	2) 3) 4)
Niet aangesloten (11)							
Directe lozingen vanuit de industrie (12)	2	0	630	635	635	640	5)
Directe lozingen (13)							
Natuurlijke achtergrondbelasting (14)							

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

iomeprol							
Emissieroute	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Atmosferische depositie (1)							
Grondwater (2)							
Erfafvoeren en drift (3)							
Erosie (4)							
Afspoeling (5)							
Drainage (6)							
Regenwateruitlaat (7)							
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)							
Overstorten uit gemengd rioolstelsel (9)							
Ongezuiverd afvalwater uit gemengd rioolstelsel (10)							
Niet aangesloten (11)							
Directe lozingen vanuit de industrie (12)	2	2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5)
Directe lozingen (13)							
Natuurlijke achtergrondbelasting (14)							

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

### Bibliografie

- 1) Micropoll DB BAFU (2009). Gegevensbank van de Zwitserse Dienst voor Milieu met monitoringgegevens uit heel Zwitserland.
- 2) Schrap, S.M., G.B.J. Rijs, M.A. Beek, J.F.N. Maaskant, J. Staeb, G. Stroomberg, J. Tiesnitsch (2003). Humane en veterinaire geneesmiddelen in Nederlands oppervlaktewater en afvalwater. RIZA-rapport 2003.023.
- 3) AquaSense (2008). KRW- en E-PRTR-stoffen in influent en effluent van rwzi's. Rapport en factsheets. Stowa-rapport 2009-30.
- 4) STOWA (2009). Verg(h)ulde Pillen Eindrapport. Deel B Case studies. Stowa-rapport 2009-06.
- 5) LANUV-gegevens (2005). Gegevensbank van de Dienst voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming van Noordrijn-Westfalen.

**Tabel 3.5:** Procentueel aandeel [c.q. vracht] van de afzonderlijke emissieroutes

Emissieroute	amidotrizoïnezuur	iopamidol	iopromid	iomeprol	Bron
Atmosferische depositie (1)	0 %	0 %	0 %	0 %	
Grondwater (2)	10 %	10 %	10 %	10 %	2)
Erfafvoeren en drift (3)	0 %	0 %	0 %	0 %	
Erosie (4)	0 %	0 %	0 %	0 %	
Afspoeling (5)	0 %	0 %	0 %	0 %	
Drainage (6)	0 %	0 %	0 %	0 %	
Regenwateruitlaat (7)	0 %	0 %	0 %	0 %	
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	88,9%	90 %	79,5 %	90 %	
	De meeste emissie vindt plaats via het rioolstelsel. Andere bronnen zijn verwaarloosbaar (maar: diffuse emissie naar het grondwater vanuit het rioolstelsel ~ 10%). (In een Berlijnse rwzi kan ca. 8% worden verwijderd → zuiveringsslib)				2) 1)
Overstorten uit gemengd rioolstelsel (9)					
Ongezuiverd afvalwater uit gemengd rioolstelsel (10)					
Niet aangesloten (11)					
Directe lozingen vanuit de industrie (12)	1,1 % (NRW: 63 kg/jaar ~1%)	<0,1% (NRW: 4,4 kg/jaar)	<10,5 % (NRW: 486 kg/jaar ~10,5%)	0 % of g.g. (NRW 0 kg/jaar)	LANUV- gegevens (2005)
Directe lozingen (13)					
Natuurlijke achtergrondbelasting (14)	0 %	0 %	0 %	0 %	

**Bibliografie**

- 1) Pineau, C.; Heinzmann, B.; Schwarz, R.-J.; Wiemann, M. und Schulz, C.: Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Phase 1: Machbarkeitsstudie des Kompetenzzentrum Wasser Berlin, April 2005
- 2) Schulte-Oehlmann, U, Oehlmann J, Püttmann W (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 168–179  
[http://www.startproject.de/downloads/UWSF\\_Schulte\\_Oehlmann\\_et\\_al\\_0807.pdf](http://www.startproject.de/downloads/UWSF_Schulte_Oehlmann_et_al_0807.pdf)

#### 4. Immissie (gemeten concentraties en vrachten, berekende vrachten)

##### 4.1 Gemeten concentraties

**Tabel 4.1.1:** Concentraties in de Rijn en zijn belangrijkste zijrivieren ( $\mu\text{g/l}$ )

amidotrizoïnezuur								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
<b>Rijn</b>								
Bazel		CH	?	?		0,027	0,085	2) (2002-2004)
Bodenmeer, Konstanz		CH / DE	18	16	<0,01	<0,01	0,02	3)
Koblenz	590,3	DE	38	1	<0,005	0,172	0,470	5) (2005-2008)
Watercontrolestation Süd/Bad Honnef	640,00	DE	13	0	0,100	0,198	0,360	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	DE	12	0	0,110	0,260	0,440	4) (2008)
Bimmen	864,96	DE	13	0	0,130	0,256	0,450	4) (2008)
Lobith		NL	56	0	0,01	0,208	0,61	RIWA (2001-2008)
<b>Zijrivieren</b>								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	3	0,01	0,09	0,39	RIWA (2001-2008)
Emscher (monding)	0,046	DE	13	0	1,9	3,046	4,50	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	DE	13	0	0,08	0,38	0,660	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	DE	15	0	0,230	0,788	1,30	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	DE	13	0	0,058	0,556	1,50	4) (2008)

amidotrizoinezuur								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
Sieg (Menden)	8,72	DE	13	1	<0,025	0,262	0,580	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	DE	13	0	0,092	0,658	1,30	4) (2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	63	0	0,01	0,202	0,84	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	3	0,01	0,194	1,2	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

iopamidol								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
<b>Rijn</b>								
Bazel		CH	37	0		0,170	0,590	2) (2002-2004)
Bodenmeer, Konstanz		CH / DE	18	1	0,01	0,027	0,056	3)
Koblenz	590,3	DE	53	0	0,099	0,233	0,494	5) (2005-2008)
Watercontrolestation Süd/Bad Honnef	640,00	DE	13	0	0,110	0,232	0,460	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	DE	12	0	0,120	0,428	1,300	4) (2008)
Bimmen	864,96	DE	13	0	0,100	0,343	0,820	4) (2008)
Lobith		NL	57	0	0,01	0,23	0,58	6) (2001-2008)

iopamidol								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
Zijrivieren								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	5	0,01	0,11	0,5	6) (2001-2008)
Emscher (monding)	0,046	DE	13	0	2,50	4,99	10,00	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	DE	13	0	0,094	0,409	0,990	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	DE	15	0	0,240	0,854	1,40	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	DE	13	0	0,120	0,590	1,80	4) (2008)
Sieg (Menden)	8,72	DE	13	0	0,200	0,898	2,00	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	DE	13	1	<0,025	0,585	1,60	4) (2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	0	0,01	0,205	0,47	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	4	0,01	0,142	0,38	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens



iopromid								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
<b>Rijn</b>								
Bazel		CH	37	0		0,067	0,140	2) (2002-2004)
Bodenmeer, Konstanz		CH / DE	18	10	<0,01	<0,01	0,018	3)
Koblenz	590,3	DE	53	0	0,036	0,134	0,428	5) (2005-2008)
Watercontrolestation Süd/Bad Honnef	640,00	DE	13	1	<0,025	0,127	0,200	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	DE	12	0	0,055	0,140	0,320	4) (2008)
Bimmen	864,96	DE	13	0	0,057	0,181	0,290	4) (2008)
Lobith		NL	56	2	0,01	0,195	0,56	6) (2001-2008)
<b>Zijrivieren</b>								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	4	0,01	0,069	0,18	6) (2001-2008)
Emscher (monding)	0,046	DE	13	0	1,60	2,35	3,70	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	DE	13	11	<0,025	0,032	0,079	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	DE	15	0	0,250	6,424	30,0	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	DE	13	0	0,050	0,164	0,330	4) (2008)
Sieg (Menden)	8,72	DE	13	8	<0,025	0,045	0,100	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	DE	13	12	<0,025	0,030	0,086	4) (2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	62	0	0,01	0,175	0,6	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	3	0,01	0,208	0,67	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

Iohexol								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
<b>Rijn</b>								
Bazel		CH	?			0,022	0,061	2) (2002-2004)
Bodenmeer, Konstanz		CH / DE	18	13	<0,01	<0,01	0,026	3)
Koblenz	590,3	DE	53	0	0,015	0,096	0,297	5) (2005-2008)
Lobith		NL	57	2	<0,01	0,087	0,23	6) (2001-2008)
<b>Zijrivieren</b>								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	13	<0,01	0,035	0,13	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	0	<0,01	0,072	0,24	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	5	<0,01	0,06	0,17	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

Iomeprol								
Naam van de Meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
<b>Rijn</b>								
Bazel		CH	?			0,064	0,210	2) (2002-2004)
Bodenmeer, Konstanz		CH / DE	18	3	<0,01	0,025	0,053	IGKB (TZW)
Koblenz	590,3	DE	53	0	0,102	0,280	0,647	5) (2005-2008)
Watercontrolestation Süd/Bad Honnef	640,00	DE	13	0	0,140	0,265	0,430	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	DE	12	0	0,130	0,329	0,700	4) (2008)
Bimmen	864,96	DE	13	0	0,180	0,372	1,00	4) (2008)
Lobith		NL	57	0	<0,01	0,2	0,68	6) (2001-2008)

Iomeprol								
Naam van de Meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
Zijrivieren								
Emscher (monding)	0,046	DE	13	0	5,50	11,75	22,00	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	DE	13	5	<0,025	0,101	0,290	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	DE	15	0	0,300	0,727	2,00	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	DE	13	0	0,250	0,809	1,90	4) (2008)
Sieg (Menden)	8,72	DE	13	4	<0,025	0,122	0,260	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	DE	13	0	0,056	1,292	9,00	4) (2008)
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	1	<0,01	0,109	0,4	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	60	0	<0,01	0,223	0,97	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	43	4	<0,01	0,263	0,8	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

joxaglinezuur								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
Rijn								
Bodenmeer, Konstanz		CH / DE	18	15	<0,01	<0,01	0,015	3)
Lobith		NL	57	57	<0,01	<0,01	<0,01	6) (2001-2008)
Zijrivieren								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	70	<0,01	<0,01	<0,01	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	62	<0,01	<0,01	0,073	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	46	<0,01	<0,01	<0,01	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

joxitalaminezuur								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Gemiddelde	Maximum	Bron
<b>Rijn</b>								
Bazel		CH	33 (metingen > BG)	?		0,025	0,058	2) (2002-2004)
Lobith		NL	57	3	<0,01	0,027	0,049	6) (2001-2008)
<b>Zijrivieren</b>								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	33	<0,01	0,011	0,067	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	6	<0,01	0,023	0,093	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	5	<0,01	0,051	0,23	6) (2001-2008)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

#### **Bibliografie**

- 1) Micropoll DB BAFU (2009). Gegevensbank van de Zwitserse Dienst voor Milieu met monitoringgegevens uit heel Zwitserland.
- 2) TZW Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (2006). Vorkommen und Bewertung von Arzneimittelrückständen in Rhein und Main. Veröffentlichungen aus dem TZW, Band 29. Untersuchungen im Zeitraum 2002-2004.
- 3) IGKB (TZW). Reeksen van metingen in het Bodenmeer
- 4) LANUV-gegevens (onderzoekperiode). Gegevensbank van de Dienst voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming van Noordrijn-Westfalen, stand: 08/2009.
- 5) BfG-gegevens (onderzoekperiode).
- 6) RIWA (2001-2008). Jaarrapporten. De Rijn in de jaren 2001 t/m 2008. RIWA

**Tabel 4.1.2:** Overzicht van de concentraties in overige oppervlaktewateren (µg/l)

<b>amidotrizoïnezuur</b>							
<b>Rijnoeverstaat</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Aantal &lt; BG</b>	<b>Minimum</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Maximum</b>	<b>Bron</b>
CH	11	0	0,01	0,054	0,275	1,5	1)
<b>iopamidol</b>							
<b>Rijnoeverstaat</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Aantal &lt; BG</b>	<b>Minimum</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Maximum</b>	<b>Bron</b>
CH	14	3	0,011	0,030	0,400	3,5	1)
<b>iopromid</b>							
<b>Rijnoeverstaat</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Aantal &lt; BG</b>	<b>Minimum</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Maximum</b>	<b>Bron</b>
CH	23	4	0,01	0,052	0,266	3,7	1)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

#### **Bibliografie**

1) Micropoll DB BAFU (2009). Gegevensbank van de Zwitserse Dienst voor Milieu met monitoringgegevens uit heel Zwitserland.

**Tabel 4.1.3** Concentratie in grondwater en drinkwater ( $\mu\text{g/l}$ )

<b>amidotrizoïnezuur</b>							
<b>Rijnoeverstaat</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Aantal &lt; BG</b>	<b>Minimum</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Maximum</b>	<b>Bron</b>
<b>Grondwater</b>							
<b>Drinkwater (oeverfiltraat c.q. verrijkt grondwater)</b>							
DE	31	10	<0,01	0,025	0,069	0,6	1)
<b>Drinkwater (kraan)</b>							
NL	12	1	0,010			0,083	Mons et al (2003)
<b>iopamidol</b>							
<b>Rijnoeverstaat</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Aantal &lt; BG</b>	<b>Minimum</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Maximum</b>	<b>Bron</b>
<b>Grondwater</b>							
<b>Drinkwater (oeverfiltraat c.q. verrijkt grondwater)</b>							
DE	31	11	<0,01	0,025	0,065	0,67	1)
<b>Drinkwater (kraan)</b>							
NL	51	42	0,010			0,069	Mons et al (2003) Versteegh et al (2007)

iopromid							
Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Grondwater							
Drinkwater (oeverfiltraat c.q. verrijkt grondwater)							
DE	31	26	<0,01	0,005	0,014	0,05	1)
Drinkwater (kraan)							
NL	54	52	0,025			0,036	Mons et al (2003) Versteegh et al (2007)

iohexol							
Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Grondwater							
Drinkwater (oeverfiltraat c.q. verrijkt grondwater)							
DE	31	31	<0,01	< BG	< BG	<0,05	1)
Drinkwater (kraan)							

iomeprol							
Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Grondwater							
Drinkwater (oeverfiltraat c.q. verrijkt grondwater)							
DE	31	28	<0,01	<0,01	0,014	0,05	1)
Drinkwater (kraan)							

jopanzuur							
Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	Maximum	Bron
Grondwater							
Drinkwater (oeverfiltraat c.q. verrijkt grondwater)							
DE	10	10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1)
Drinkwater (kraan)							

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

### Bibliografie

1) AWWR (2006): Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr. Meetgegevens van het samenwerkingsverband van de waterleidingbedrijven langs de Ruhr uit de periode 2003-2006.



## 4.2 Vrachten

**Tabel 4.2.1:** In de Rijn (en in zijrivieren van eerste orde) gemeten vrachten (kg/jaar)<sup>1)</sup>

Gemeten vrachten								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Afvoer (gemiddelde in m <sup>3</sup> /s)	Referentiejaar	vracht (t/jaar)	Bron
<b>amidotrizoïnezuur</b>								
Rijn (watercontrolestation Süd/Bad Honnef)	639,997	DE	13	0	2042,3	2008	11,5	2) (2008)
Rijn (Düsseldorf-Flehe)	732,33	DE	12	0	1920,0	2008	15	2) (2008)
Rijn (Bimmen)	864,96	DE	13	0	2284,6	2008	17	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	13	0	202,9	2008	3	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	3	0	43,8	2005-2006	0,8	2) (2005-2006)
<b>iomeprol</b>								
Rijn (watercontrolestation Süd/Bad Honnef)	639,997	DE	13	0	2042,3	2008	16	2) (2008)
Rijn (Düsseldorf-Flehe)	732,33	DE	12	0	1920,0	2008	20	2) (2008)
Rijn (Bimmen)	864,96	DE	13	0	2284,6	2008	26	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	13	0	202,9	2008	5	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	3	0	43,8	2005-2006	0,6	2) (2005-2006)

Gemeten vrachten								
Naam van de meetlocatie	km	Rijnoeverstaat	Aantal metingen	Aantal < BG	Afvoer (gemiddelde in m <sup>3</sup> /s)	Referentiejaar	vracht (t/jaar)	Bron
<b>iopamidol</b>								
Rijn (watercontrolestation Süd/Bad Honnef)	639,997	DE	13	0	2042,3	2008	14	2) (2008)
Rijn (Düsseldorf-Flehe)	732,33	DE	12	0	1920,0	2008	23	2) (2008)
Rijn (Bimmen)	864,96	DE	13	0	2284,6	2008	24	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	13	0	202,9	2008	4	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	3	0	43,8	2005-2006	1,2	2) (2005-2006)
<b>iopromid</b>								
Rijn (watercontrolestation Süd/Bad Honnef)	639,997	DE	13	1	2042,3	2008	8	2) (2008)
Rijn (Düsseldorf-Flehe)	732,33	DE	12	0	1920,0	2008	8	2) (2008)
Rijn (Bimmen)	864,96	DE	13	0	2284,6	2008	13	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	13	0	202,9	2008	1	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Zijrivier van de Rijn van eerste orde	DE	3	0	43,8	2005-2006	4,5	2) (2005-2006)

**Legenda:** BG = bepalingsgrens

<sup>1)</sup> Bij de schatting van de vracht werd het gemiddelde van de afzonderlijke vrachten (verkregen op basis van de gemeten concentratie x de gemiddelde gemeten dagafvoer) geëxtrapoleerd naar 364 dagen. Concentraties < BG zijn beschouwd als 0.

#### **Bibliografie**

2) LANUV-gegevens (onderzoeksjaar). Gegevensbank van de Dienst voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming van Noordrijn-Westfalen, stand: 08/2009.

## 5. Beoordelingscriteria (kwaliteitscriteria)

Tabel 5.1: Bestaande nationale en internationale kwaliteitscriteria (in µg/l)

Naam van de stof	Kwaliteitscriteria									Bron	
	MKN	ICBR- doelstelling	Nationale waarden						IAWR- waarden		Overige (m.b.t. de drinkwater- winning)
			AT	CH	DE	FR	LU	NL			
Jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen (niet gespecificeerd)	geen								0,1	<b>GOW:</b> ≤0,1 → <1,0	1), 2) (UBA, 2008) 3) IAWR (2007) 4) MUNLV (2009)
amidotrizoïnezuur	geen								0,1	≤0,1 → <1,0	
iopromid	geen								0,1	≤0,1 → <1,0	
iopamidol	geen								0,1	≤0,1 → <1,0	
iomeprol	geen								0,1	≤0,1 → <1,0	

**Legenda:** MKN = milieukwaliteitsnorm van de EU-lidstaten (conform EG-KRW)  
IAWR = Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (Internationaal samenwerkingsverband van Waterleidingbedrijven in het Rijnstroomgebied)  
GOW = Gesundheitlicher Orientierungswert (oriënteringswaarde voor de gezondheid): preventieve waarde voor de levenslange, dagelijkse consumptie van drinkwater

De schrijfwijze "≤0,1 → <1,0" moet conform 2) UBA, 2008 als volgt worden begrepen:

"Omdat enerzijds de verdenking op schade aan chromosomen is weerlegd en er geen herkenbaar neurotoxisch of immunotoxisch potentieel bestaat, maar er anderzijds voor geen van de röntgencontrastmiddelen subchronische en chronische dierproeven zijn uitgevoerd, beveelt de UBA, 2003 een oriënteringswaarde voor de gezondheid (GOW) van 1 µg/l per röntgencontrastmiddel aan als preventieve waarde. Als zodanig geldt de waarde ook per component van sommen van stoffen met een gelijktijdig, vergelijkbaar effect. Puur toxicologische toelaatbare richtwaarden voor de gezondheid bij levenslange blootstelling zijn er voor röntgencontrastmiddelen niet. Een streefwaarde voor drinkwaterhygiëne moet, gelet op het mogelijke ontstaan van toxicologisch relevante omzettingproducten bij de oxidatieve drinkwaterproductie en onder toepassing van § 6(3) van de Duitse drinkwaterverordening uit 2001, nu eens hoger en dan weer lager kunnen zijn en onder de bovengenoemde oriënteringswaarde voor de gezondheid liggen."

## Bibliografie

- 1) Beoordeling van het voorkomen van röntgencontrastmiddelen in het drinkwater / brief van de Duitse milieudienst (*Umweltbundesamt*, UBA) van 14 maart 2008 aan het ministerie van Milieu van Noordrijn-Westfalen, geciteerd in: MUNLV (2009).
- 2) UBA (2008). Brief van de Duitse milieudienst aan het ministerie van Milieu van Noordrijn-Westfalen (14 maart 2008). Beoordeling van drinkwaterrelevante contaminanten in de Ruhr vanuit het oogpunt van toxicologie en drinkwaterhygiëne (niet gepubliceerd\*\*); geciteerd in: [http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/zwischenbericht\\_reine\\_ruhr.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/zwischenbericht_reine_ruhr.pdf)).
- 3) IAWR (2007). Standpunt van de IAWR en de IAWD t.a.v. organische spoorelementen in het water. Keulen, 28 maart 2007. [http://www.iawr.org/docs/publikation\\_sonstige/070329\\_Spurenstoffe\\_IAWR\\_IAWD2.pdf](http://www.iawr.org/docs/publikation_sonstige/070329_Spurenstoffe_IAWR_IAWD2.pdf)
- 4) MUNLV (2009). Ministerie van Milieu en Natuurbescherming, Landbouw en Consumentenbescherming van Noordrijn-Westfalen. Eerste voortgangsrapport over het programma "Reine Ruhr", strategie ter verbetering van de water- en drinkwaterkwaliteit. [http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/zwischenbericht\\_reine\\_ruhr.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/zwischenbericht_reine_ruhr.pdf)

**Tabel 5.2:** Inventaris van toxiciteitsgegevens

Stof	NOEC chronisch (g/l)	NOEC acuut (g/l)	Soort	Eindpunt	Effect-concentratie	VF	PNEC chronisch (mg/L)	PNEC acuut (mg/l)	Bron
iopamidol			(zie hieronder)			100	> 10 mg/L		1)
			Vibrio fisheri	remming van de lichtemissie	EC <sub>50/30 min</sub> : > 10,0 g/L				1)
			Pseudomonas putida	remming van de groei	EC <sub>10/16h</sub> : > 10,0 g/L				1)
			Scenedesmus subspicatus	remming van de groei	EC <sub>50/72h</sub> : > 10,0 g/L				1)
			Daphnia magna	immobilisatie	EC <sub>50/24h</sub> : > 10,0 g/L				1)
	≥1,0 g/L		Daphnia magna	voortplanting(chronische toxiciteit)	EC <sub>50/22d</sub> : > 1,0 g/L				1)
			Danio rerio	sterfte	LC <sub>50/96h</sub> : > 10,0 g/L				1)
			Leuciscus idus	sterfte	LC <sub>50/48h</sub> : > 10,0 g/L				1)

**Legenda:** NOEC = **N**o **o**bserved **e**ffect **c**oncentration  
 AF = **A**ssessment **f**actor  
 PNEC = **P**redicted **n**o **e**ffect **c**oncentration

### Bibliografie

- 1) T. Steger-Hartmann, R. Länge and H. Schweinfurth (2002). Environmental Risk Assessment for the Widely Used Iodinated X-Ray Contrast Agent Iopromide (Ultravist). Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 42, Issue 3, March 1999, pp 274-281.
- 2) The Merck Index; Thirteenth Ed. (2001)

## 6. Strategie-aanpak (mogelijke reductiemaatregelen)

Tabel 6.1: Potentiële maatregelen aan de bron

Maatregel	Effect/beoordeling van de maatregel	Betrokken indicatorstoffen	Benodigde tijd			Bron
			< 5 jaar	5 tot 10 jaar	>10 jaar	
Bij de producent: Terugwinning van het jodium door gescheiden opvang en verbranding van de bijproducten die ontstaan bij de bereiding van jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen (procedé van de firma Bayer-Schering, Bergkamen)	klein tot gemiddeld	amidotrizoïnezuur, iopamidol, iomeprol, iopromid	x			1) (2007)
Omdat de patiënt röntgencontrastmiddelen binnen 24 uur na toediening nagenoeg volledig uitscheidt, ligt urinescheiding voor de hand. Maatregel: creatie van een centraal verzamelpunt per deelstaat met een verzameltank voor de primaire urine, een nanofilterinstallatie voor concentratieverhoging en een verzameltank voor het jodiumhoudende concentraat. Het jodiumhoudende concentraat kan na de terugwinning van het recyclingproduct jodium worden verbrand (daardoor ontstaan er voor de verwijdering geen of slechts zeer lage kosten). Het draagvlak bij dokters, ziekenhuispersoneel en patiënten is goed.	groot	Alle d.m.v. injectie toegediende en via de urine uitgescheiden röntgencontrastmiddelen: iopamidol, iomeprol, iopromid, iobitridol, iohexol, iomeprol, etc. (niet: amidotrizoïnezuur, joxitalaminezuur)	x			1) (2007) 2) (2005)
Mogelijke techniek voor de verwijdering van de twee röntgencontrastmiddelen die worden toegepast in het maag-darmkanaal (amidotrizoïnezuur, joxitalaminezuur) en voor de verwijdering van de röntgencontrastmiddelen die worden uitgescheiden met de urine: Een procedé dat gebruik maakt van een zogenaamd "elektrisch verbrandingstoilet". Deze toestellen voor de volledige en onschadelijke verwijdering van alle menselijke uitwerpselen zijn in Scandinavië zeer wijdverspreid.	groot	Alle röntgencontrastmiddelen (middelen die worden uitgescheiden via de darm of via de urine)	x			4) (in press); 5) (2009)

**Tabel 6.2:** Potentiële mogelijkheden voor de reductie van de emissie langs verschillende emissieroutes

Emissieroute	Relevantie	Maatregel	Effect/beoordeling van de maatregel	Verwijderde indicatorstoffen	Benodigde tijd			Bron
					< 5 jaar	5 tot 10 jaar	>10 jaar	
Atmosferische depositie (1)	0							
Grondwater (2)	1	Lekkages in het rioolstelsel dichten	Gering tot middelmatig (gemiddeld ca. 10%)	amidotrizoïnezuur, iopamidol, iomeprol, iopromid		x	x	3)
Erfafvoeren en drift (3)	0							
Erosie (4)	0							
Afspoeling (5)	0							
Drainage (6)	0							
Regenwateruitlaat (7)	0							
Emissies vanuit gemeentelijke rwzi's (8)	3	<p>Omdat de patiënt röntgencontrastmiddelen binnen 24 uur na toediening nagenoeg volledig uitscheidt, ligt urinescheiding voor de hand. Maatregel: creatie van een centraal verzamelpunt per deelstaat met een verzameltank voor de primaire urine, een nanofilterinstallatie voor concentratieverhoging en een verzameltank voor het jodiumhoudende concentraat. Het jodiumhoudende concentraat kan na de terugwinning van het recyclingproduct jodium worden verbrand (daardoor ontstaan er voor de verwijdering heel weinig of geen kosten). Het draagvlak bij dokters, ziekenhuispersoneel en patiënten is goed.</p> <p>Verdere methodes: gebruik van urinezakjes; Gebruik van verbrandingstoiletten in radiologische centra en ziekenhuizen (zie hierboven).</p>	groot	amidotrizoïnezuur, iopamidol, iomeprol, iopromid	x			1) 2)

Emissieroute	Relevantie	Maatregel	Effect/beoordeling van de maatregel	Verwijderde indicatorstoffen	Benodigde tijd			Bron
		Reductieve dehalogenatie met elementair ijzer voor de terugwinning van jodium is al succesvol toegepast in Berlijn.						
Overstorten uit gemengd rioolstelsel (9)	1							
Ongezuiverd afvalwater uit gemengd rioolstelsel (10)	1							
Niet aangesloten (11)	1	Verhoging van het aansluitingspercentage	gering			x	x	
Directe lozingen vanuit de industrie (12)	1	Verbranding in een draaioven van de bijproducten die ontstaan bij de bereiding van jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen met terugwinning van het jodium (procedé van de firma Bayer-Schering, Bergkamen)	Wegens de hoge c.q. stijgende handelsprijs van jodium is de terugwinning van deze stof thans rendabel.  Als gevolg van het over het geheel genomen relatief lage percentage waterverontreiniging en uit directe lozingen is het totale effect slechts middelmatig tot gering (<1-10%).	amidotrizoïnezuur, iopamidol, iomeprol, iopromid	x			1) 2007
Directe lozingen (13)	0							
Natuurlijke achtergrondbelasting (14)	0							

**Legenda:**

Relevantie van de emissieroute

0 = niet van belang

1 = van weinig belang (emissie &lt; 10%)

2 = van gemiddeld belang (emissie &gt; 10 tot &lt; 50%)

3 = van groot belang (emissie &gt; 50%)



## Bibliografie

- 1) LANUV (2007). Jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen. Niet-gepubliceerd rapport van de Dienst voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming van Noordrijn-Westfalen van 29 oktober 2007 voor het MUNLV.
- 2) Pineau, C.; Heinzmann, B.; Schwarz, R.-J.; Wiemann, M. und Schulz, C.: Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Phase 1: Machbarkeitsstudie des Kompetenzzentrum Wasser Berlin, April 2005
- 3) Schulte-Oehlmann, U, Oehlmann J, Püttmann W (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 168–179  
[http://www.startproject.de/downloads/UWSF\\_Schulte\\_Oehlmann\\_et\\_al\\_0807.pdf](http://www.startproject.de/downloads/UWSF_Schulte_Oehlmann_et_al_0807.pdf)
- 4) DWA-notitie M-775 (afvalwater van ziekenhuizen) (in press.)
- 5) Conferentiebundel van de bijeenkomst over indirecte emittenten in het Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft (BEW). Essen, 2009.
- 6) BAFU (2009): Kantonsspital Liestal - Abwasserkonzept bezüglich organischer Spurenstoffe. BAFU 2009.  
<http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/06387/index.html?lang=de>

**Tabel 6.3:** Voor de algemene strategie van de ICBR te gebruiken elementen

maatregel	Benodigde tijd		
	< 5 jaar	5 tot 10 jaar	> 10 jaar
Recycling (jodium) als maatregel aan de bron	x		
<p>Gebruik van elektrische verbrandingstoiletten in radiologische centra en ziekenhuizen (maatregel kan direct worden toegepast en maakt volledige en onschadelijke verwijdering mogelijk):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Energiebehoefte</u>: 1,0 – 2,0 kWh per toiletgebruik (informatie van de producent).</li> <li>- <u>Gebruik tot dusver</u>: Voornamelijk in Noorwegen; gebruikelijk in de meeste alleenstaande huizen en vakantie- en vissershuisjes langs de fjorden.</li> <li>- <u>In ziekenhuizen</u> is het systeem tot nog toe vrijwel onbekend. Het voorstel is besproken in de DWA-werkgroep IG-2.14 in het kader van de herziening van notitie M-775 "afvalwater van ziekenhuizen".</li> </ul> <p>Het gebruik tot dusver spreekt voor de eenvoud van het systeem. Het energieverbruik wordt, rekening houdend met de energiebesparing op de zuivering van het afvalwater, als matig tot gering ingeschat.</p>	x		
Maatregel op het niveau van de patiënt: <u>gebruik van urinezakjes</u> : In BAFU (2009) is uit een vergelijking van varianten gebleken dat voor röntgencontrastmiddelen de maatregel op het niveau van de patiënt het beste resultaat oplevert. Deze maatregel bracht het er zowel wat verwijderbare vracht als wat kosten-batenverhouding betreft beter van af dan centrale (conventionele zuiveringsinstallatie) en gescheiden afvalwaterzuivering in ziekenhuizen (ozon-oxidatie, actieve kool in poedervorm).	x		
<u>Maatregelen in het ziekenhuis</u> (een eigen zuiveringsinstallatie (ozon-oxidatie, actieve kool in poedervorm) of uitrusting met vacuümtoiletten) hebben ten opzichte van de bovenvermelde maatregel op het niveau van de patiënt het nadeel dat de contrastmiddelen die worden uitgescheiden door ambulante patiënten niet worden meegenomen.		x	

**BIJLAGE**

Vergelijking van mogelijke methodes voor de verwijdering van jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen uit de urine van patiënten en het afvalwater van ziekenhuizen:

Methode	Toestellen / apparatuur	Benodigde materialen	Energie-input voor	Voordelen	Nadelen
Ozon-oxidatie <sup>(1)</sup>	Ozongenerator, pomp	Pure zuurstof	Productie van ozon, begassing	Beproefde methode voor afvalwaterbehandeling	Er ontstaan alleen niet-gekaracteriseerde, jodiumhoudende, organische fragmenten. Deze zijn niet afbreekbaar, maar mogelijk gevaarlijk! Het effect wordt door ander organisch materiaal verminderd.
verbranding (draaioven) <sup>(2)</sup>	Nanofilterinstallatie of verdamper	geen	Concentratieverhoging d.m.v. nanofiltratie of indamping, transport	Terugwinning van jodium, 100% verwijdering van de jodiumhoudende röntgencontrastmiddelen, geen verontreinigd afvalwater	Verbranding kan alleen na verzameling, concentratieverhoging en transport
Reductieve dehalogenatie <sup>(3)</sup> met elementair ijzer	Contactkolom, pomp, pH-stat-opstelling (evt. voorfilter)	IJzerstof (met een groot beschikbaar oppervlak), zuur	Roerder (pH-instelling), pomp	Zeer eenvoudige, ongecompliceerde methode, goedkoop, echte dejodering (I <sup>-</sup> )	Slechts ca. 80% komt vrij als jodium; 20% komt als niet-gekaracteriseerde metabolieten in het afvalwater terecht
Door Ag(111) gekatalyseerde dehalogenatie <sup>(4)</sup>	Hoogvacuüm verdamper / reactorvat, met Ag(111) beklede reactor	Ag(111)-bekleding, argon voor regeneratie	Hoogvacuüm verdamping	???	Nieuwe methode, niet beproefd, alleen beschreven voor joodalkanen
Fotochemische / fotolytische afbraak <sup>(5)</sup>	Lichtbron (uv-lamp), bestralingsruimte	Evt. TiO <sub>2</sub> -katalysator + pure zuurstof	UV-lamp, pomp	Beproefde methode voor afvalwaterbehandeling; het effect wordt eventueel door ander organisch materiaal verbeterd	Er wordt slechts weinig jodide vrijgemaakt; er komen veel niet-gekaracteriseerde metabolieten in het afvalwater terecht (evt. met een golflengte van ca. 250 nm beter?)

Methode	Investeringskosten	Exploitatiekosten	Hoeveelheid afvalwater/afval	Rendabiliteit	Effect op het milieu (= baten)	Geschiktheid voor decentrale toepassing	Innovatie
ozon-oxidatie	+	++	+++	+	-	+++	-
verbranding (draaioven)	++	++	-	++(+)	+++	-	++
Reductieve dehalogenatie met elementair ijzer	+ / -	-	+(+)	+(+)	++	+++	+++
Door Ag(111) gekatalyseerde dehalogenatie	+++	+++	++	-	-	-	-
Fotochemische / fotolytische afbraak	++(+)	++	++(+)	+	+	+++	(+)

+++ = zeer hoog; ++ = hoog; + = matig; - = laag;

## Bibliografie

- <sup>(1)</sup> = T. Ternes, BfG
- <sup>(2)</sup> = Bayer-Schering, Bergkamen, (Dr. Bennemann)
- <sup>(3)</sup> = Stieber, M., Putschew, A. & Jekel, M. (2008) Reductive dehalogenation of iopromide by zero-valent iron; *Water Science & Technology* **57**(12), 1969-1975
- <sup>(4)</sup> = Buelow, M.T. & Gellman, A.J. (2001) The transition state for metal-catalyzed dehalogenation: C-I bond cleavage on Ag(111); *J.Am.Chem.Soc.* **123**,1440-1448
- <sup>(5)</sup> = Doll, T.E. (2004) Dissertation Universität Karlsruhe: Photochemischer und photokatalytischer Abbau von Carbamazepin, Clofibrinsäure, Iomeprol und Iopromid.