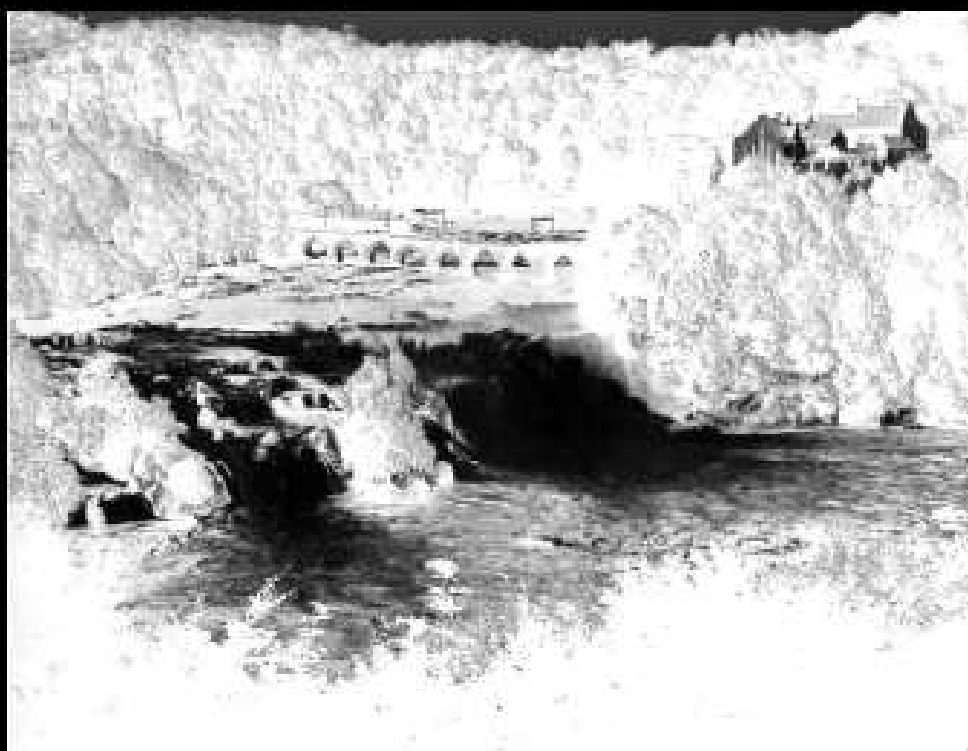


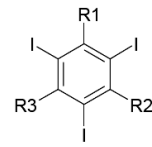
# Röntgenkontrastmittel im Abwasser – Eine Standortbestimmung



Maturaarbeit im Fach Chemie

Lisa Hartmeier

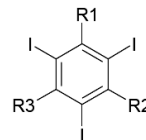
Betreuer: Dr. Thomas Stamm



### **Zitiervorschlag:**

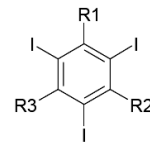
"Röntgenkontrastmittel – Eine Standortbestimmung",  
Maturaarbeit von Lisa Hartmeier - Dez. 2008 - (Kantonsschule Schaffhausen)

Kontaktadresse: lisahartmeier@gmx.ch

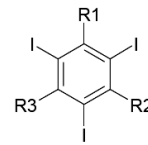


## Inhaltsverzeichnis

<b>Dank .....</b>	<b>5</b>
<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Theorie.....</b>	<b>7</b>
1.1. Röntgenkontrastmittel .....	7
1.1.1. Anwendung.....	7
1.1.2. Historische Entwicklung: .....	8
1.2. Röntgenkontrastmittel im Abwasser .....	10
1.3. Die in Schaffhausen nachgewiesenen Röntgenkontrastmittel und ihre Strukturformel ..	11
Quellen zum Kapitel 1. Theorie .....	13
<b>2. Methoden .....</b>	<b>14</b>
2.1. Kläranlage .....	14
2.2. Methoden zur Verhinderung der Abwasserkontamination durch Röntgenkontrastmittel .....	16
2.2.1. No Mix Toilette .....	16
2.2.2. Vakuumtoiletten.....	16
2.2.3. Sammlung von Röntgenkontrastmittel in Urinsammelflaschen .....	16
2.2.4. Ozonierung .....	17
2.2.5. Aktivkohle .....	17
Quellen zum Kapitel 2. Methoden .....	18
<b>3. Momentane Situation (Rohresultate).....</b>	<b>19</b>
3.1. Schaffhausen .....	19
3.1.1. Abwasserreinigungsanlage (ARA) Röti in Neuhausen .....	19
3.1.2. ARA Hallau (Klettgau) .....	21
3.1.3. ARA Bibertal-Hegau .....	22
3.1.4. Röntgenkontrastmittel im Grundwasser .....	23
3.1.5. Pseudofrachten Schaffhausen .....	23
3.2. Bodensee .....	24
3.3. Basel .....	25
3.4. Zürich.....	28



3.4.1. ARA Werdhölzli.....	28
3.5. Elimination von Röntgenkontrastmittel in Kläranlagen.....	30
3.6. Verkaufszahlen der Röntgenkontrastmittel im Kantonsspital Schaffhausen .....	31
3.6.1. Iohexol .....	31
3.6.2. Iopamidol.....	31
3.6.3. Ioxitalaminsäure .....	32
Quellen zum Kapitel 3. Momentane Situation (Rohresultate).....	33
<b>4. Diskussion / Interpretation .....</b>	<b>35</b>
4.1. Schaffhausen .....	35
4.1.1. Vergleich Messungen 2008 in der ARA Röti und der ARA Hallau mit den vorliegenden Verkaufszahlen von 2007 .....	35
4.1.2. Kläranlage Bibertal-Hegau.....	38
4.1.3. Röntgenkontrastmittel in Schaffhauser Trinkwasserfassungen im Vergleich zu Rohwasser im Bodensee bei Sipplingen .....	39
4.2. Konzentrationsverlauf der Röntgenkontrastmittel vom Bodensee bis Basel.....	42
4.3. Zürich .....	43
Quellen zum Kapitel 4. Diskussion / Interpretation .....	44
<b>5. Fazit .....</b>	<b>46</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>47</b>



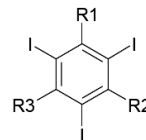
### Dank

Allen Leuten, die mich während der Arbeit unterstützten, Literatur zur Verfügung stellten und meine Arbeit gegenlasen möchte ich hier meinen Dank aussprechen. Insbesondere:

- Dr. Thomas Stamm, für die Betreuung und Unterstützung meiner Arbeit
- Dem ALU, insbesondere Dr. Frank Lang und Dr. Rainer Bombardi, für die Hilfe beim Beschaffen wichtiger Quellen, fürs mehrmalige Durchlesen und die vielen guten Ratschläge
- Meiner Mutter Dr. pharm. Cora Hartmeier, für das Bereitstellen der Verkaufszahlen des Kantonsspitals Schaffhausen und die vielen allgemeinen Inputs zur Verbesserung meiner Arbeit.
- Den Klärwärtern Paul Brühlmann, von der ARA Röti, und U. Schadov, von der ARA Hallau, für die spannenden und lehrreichen Führungen, wie auch für die Probennahme.
- Herrn Gabriel Agostini von der Firma Nycomed, für die Führung durch die Produktion von Pantoprazol und Röntgenkontrastmittel und die Bereitschaft meine Arbeit gegenzulesen.
- Dem Team der ARA Wüeri in Regensdorf, für die interessante Führung.
- Dr. Christoph Ort, für das Erläutern des Nationalen Stoff-Flussmodell an der EAWAG.
- Dr. Frank Sacher (DVGW-TZW Karlsruhe), für das Gegenlesen meiner Arbeit.

Folgenden Personen möchte ich für die Bereitstellung von Daten danken:

- Michael Fleig (DVGW-TZW Karlsruhe)
- Michael Petri (ZVBWV Sipplingen)
- Dr. Roland Schick (ZVBWV Sipplingen)
- Rüdiger Steck



## Einleitung

In der Umwelt-Diskussion nehmen Arzneimittelrückstände, vor allem in Gewässern, einen immer wichtigeren Stellenwert ein. Darum werden sie in der Literatur und auch in den Medien ein zunehmend grösseres Thema.

Arzneistoffe, die wir in unseren Organismus aufnehmen, gelangen unverändert, beziehungsweise metabolisiert, über die natürlichen Ausscheidungen in das Abwasser. Zahlreiche Proben des ungeklärten und geklärten Abwassers zeigen, dass Kläranlagen gewisse Arzneimittel nur unvollständig eliminieren können. Werden Arzneimittel nicht von Kläranlagen eliminiert, gelangen sie in die Oberflächengewässer und damit auch in das Uferfiltrat und ins Grundwasser. Deshalb können bestimmte Arzneistoffe in unserem Trinkwasser nachgewiesen werden.

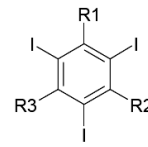
Die gefundenen Konzentrationen von Arzneimitteln liegen zwar glücklicherweise in Oberflächenwasser und Grundwasser weit unterhalb der therapeutischen Dosis. Trotzdem sind die Auswirkungen auf die Umwelt, die von einer geringen, aber konstanten Exposition bestimmter Arzneimittelwirkstoffe betroffen ist, weitgehend unerforscht.

Die vorliegende Maturaarbeit beschränkt sich auf die Substanzgruppe Röntgenkontrastmittel (wird im Verlauf der Arbeit mit „RKM“ abgekürzt), weil sie hier als nichttoxische Leitsubstanz für ökotoxikologisch bedenklichere Arzneimittel wie Hormone, Zytostatika, Antibiotika dient.

Die Untersuchung der Röntgenkontrastmittel hat den Vorteil, dass sie sehr stabil und im Schaffhauser Wasserkreislauf gut nachweisbar sind. Röntgenkontrastmittel werden vom Menschen innerhalb von 24 Stunden zu 98 % unverändert ausgeschieden und in der Kanalisation und in Kläranlagen nicht abgebaut. Zudem kann man sie über eine geographische Distanz beobachten, denn die Eintragswege von Röntgenkontrastmitteln sind bekannt und gut nachverfolgbar, da eine Ausscheidung vom Patienten innerhalb von 24 Stunden erfolgt. Daraus kann man Schlüsse bezüglich der Menge von Röntgenkontrastmitteln ziehen, die ausgeschieden werden.

Die vorliegende Arbeit soll als Entscheidungsgrundlage zur Evaluierung von Eliminierungsstrategien im Kanton Schaffhausen dienen.

Verschiedene Möglichkeiten, die verhindern, dass Röntgenkontrastmittel in den Wasserkreislauf gelangen, werden zusammengefasst.



## 1. Theorie

### 1.1. Röntgenkontrastmittel

#### 1.1.1. Anwendung

Röntgenkontrastmittel dienen der Darstellung von Strukturen und Funktionen des Körpers, indem sie Röntgenstrahlen anders absorbieren als die benachbarten Körpergewebe. Röntgenkontrastmittel werden in der Röntgendiagnostik, der Magnetresonanztomografie (MRT) und der Ultraschalldiagnostik eingesetzt. Dank dem Einsatz von Kontrastmitteln ist eine Differenzierung der einzelnen Strukturen oder der Organfunktionen möglich.

Ein Röntgenkontrastmittel muss drei wichtige Voraussetzungen erfüllen:

1. eine möglichst effektive Kontrastgebung
2. eine geringe Toxizität der Wirksubstanz und deren Abbauprodukte
3. Sie sollten auf natürlichem Weg ausgeschieden werden können und nicht im Körper angereichert werden.

#### Positive und negative Kontrastmittel

Es gibt röntgenpositive und röntgennegative Kontrastmittel:

Röntgenpositive Kontrastmittel:

- Bariumsulfathaltige Suspensionen
- Jodhaltige Kontrastmittel

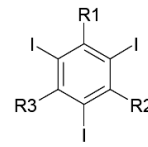
Positive Röntgenkontrastmittel sind für die Röntgenstrahlung weniger durchlässig als Weichteilgewebe, deshalb erscheinen diese, wie Knochen, weiss im Röntgenbild.

Röntgennegative Kontrastmittel:

Gase:

- Luft
- CO<sub>2</sub>
- O<sub>2</sub>

Negative Kontrastmittel sind für die Röntgenstrahlung stärker durchlässig als die Weichteilgewebe, somit sind diese im Röntgenbild schwarz zu sehen.



Um ein besonders differenziertes Bild zu erhalten, kann man negative und positive Röntgenkontrastmittel kombinieren:

1. Monokontrast
2. Doppelkontrast

Beim Monokontrast wird entweder das negative oder positive Kontrastmittel einzeln gebraucht. Beim Doppelkontrast werden sie in Kombination verwendet. Dies wird vor allem für die Magen-Darm-Diagnostik eingesetzt. Dabei wird das Lumen (Hohlorgan) mit einem negativen Kontrastmittel gefüllt und der Wandbeschlag durch ein positives Kontrastmittel dargestellt.

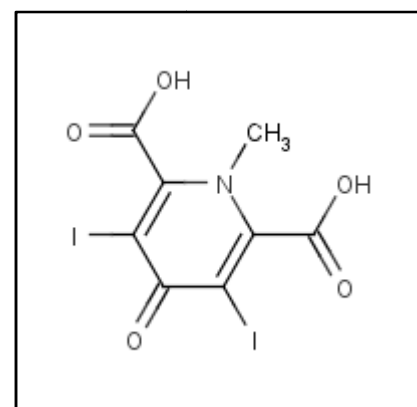
### 1.1.2. Historische Entwicklung:

Im November 1895 untersuchte Conrad Röntgen elektrische Ladevorgänge in Röhren mit verdünnten Gasen. Röntgen war der erste, der die Lichterscheinungen erkannte, die bei jeder Ladung entstehen. Diese „neuen“ Strahlen nannte Röntgen X-Strahlen.

Durch weitere Experimente wurde folgendes klar: Je dichter das Material ist, desto weniger durchlässig wird es für die Strahlen. Innerhalb weniger Monaten nach dieser Entdeckung, machten Wissenschaftler schon Röntgenaufnahmen von Gebissen, Brustkörben und Schädelknochen. Aber andere Körperregionen, wie zum Beispiel Herz oder Magen konnten kein vernünftiges Röntgenbild liefern, da sie nur aus Weichteilen bestehen. Hier kamen die Kontrastmittel zum Einsatz. Durch die Verwendung von gebundenem Jod und Barium konnte das Problem behoben werden. Diese Kontrastmittel sammeln sich in Hohlräumen an und absorbieren die Röntgenstrahlen so stark, dass der kontrastmittelgefüllte Raum sichtbar wird.

Mit Ausnahme von Bariumsulfat beinhalten Röntgenkontrastmittel Jod. Die Bindung von Jod an organische Moleküle stellte den ersten Fortschritt bei der Entwicklung jodierter Röntgenkontrastmittel dar. Die Toxizität wurde im Vergleich zum klassischen Natriumjodid um das Dreifache gesenkt. Es wurden aber keinerlei Fortschritte hinsichtlich der Kontrastgebung erzielt.

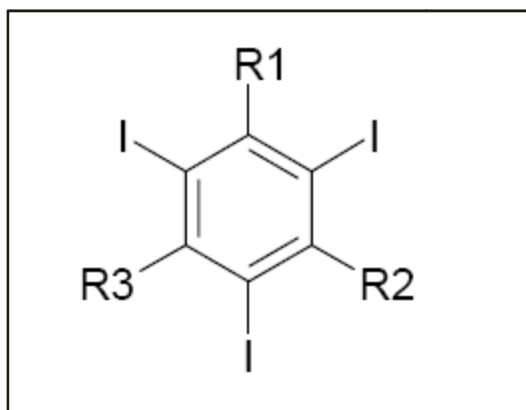
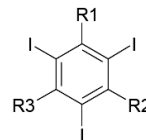
Eine erste Wirksamkeitssteigerung erfolgte mit Uroselectan B.



Uroselectan B

Man konnte eine Verringerung der Toxizität erreichen und auch die Kontrastgebung wurde verbessert. Diese Fortschritte wurden in den frühen dreissiger Jahren des 20. Jahrhunderts gemacht und diese Art von Kontrastmitteln blieb ungefähr zwanzig Jahre lang in Gebrauch.





Grundstruktur trijodierter Röntgenkontrastmittel

Zu Beginn der fünfziger Jahre wurde die Acetrizoesäure eingeführt. Deren Grundgerüst besteht aus einem Trijodbenzolring. In diesem ist das Jod fest gebunden und diese Verbindung mit drei Jodatomen ist dreimal weniger toxisch und gleichzeitig dreimal effizienter als Uroselectan. Ausschlaggebend hierfür ist die höhere Joddichte.

Am Grundgerüst von Trijodbenzoesäure wurde lange geforscht, viele Veränderungen erfolgten dabei an den Substituenten  $R_2$  und  $R_3$ .

An diesen kann man Seitenketten einfügen, um die physiokochemischen und biologischen Eigenschaften zu beeinflussen.

Durch diese Weiterentwicklung gelangte man schliesslich zu verbesserten Verbindungen. Diese Art von Kontrastmittel brauchte man in der Praxis während ca. dreissig Jahren.

Mit der Entfernung der Carboxylgruppe aus dem Grundgerüst des trijodierten Benzolringes begann die Ära der nichtionischen jodsubstituierten Kontrastmittel als injektionsfertige Lösungen.

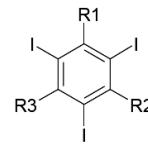
Im Laufe der Anwendung wurde klar, dass ein grosser Teil der Nebenwirkungen von Röntgenkontrastmitteln durch den hohen osmotischen Druck der Kontrastmittellösungen hervorgerufen wurden und nicht durch toxische Eigenschaften. Nun wurden Röntgenkontrastmittel mit geringerer osmotischer Aktivität entwickelt: die nichtionischen Kontrastmittel.

Seither erfüllen diese Kontrastmittel die an sie gestellten Erwartungen der Kontrastgebung und der Verträglichkeit.

Zeitgleich zur Entwicklung der nichtionischen Kontrastmittel wurden ionische Dimere synthetisiert. Das heisst, man vereinigt zwei Trijodbenzolmoleküle durch eine Polycarboxylkette. Dadurch erhält man ein Atom mit sechs Jodatomen.

Die Wirksamkeit der Kontrastgebung dieser ionischen Dimere ist identisch mit jener der nichtionischen Kontrastmittel. Die Toxizität der nichtionischen Dimere ist aber höher. Das Konzept der Dimere wurde etwas später auf nichtionische Verbindungen angewendet. Die Wirksamkeit dieser neuen Verbindungen hat sich verdoppelt, aber die Toxizität ist noch immer etwa gleich hoch wie bei den nichtionischen Monomeren.

Im Kantonsspital Schaffhausen werden vor allem trijodierte nichtionische Monomere verwendet. Daneben werden auch nichtionische Dimere, ionische Dimere und Bariumsulfat eingesetzt.



### 1.2. Röntgenkontrastmittel im Abwasser

Röntgenkontrastmittel werden vorwiegend in Krankenhäusern und Arztpraxen angewendet.

Röntgenkontrastmittel sind stabil, da sie im Körper nicht abgebaut, sondern unverändert ausgeschieden werden. Deshalb belasten sie als stabile Moleküle Abwasser und Umwelt.

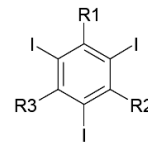
Die Röntgenkontrastmittel gelangen mit dem Urin in das Abwassersystem und werden nur wenig in Kläranlagen abgebaut. Daher kommen sie im Oberflächengewässer vor, von wo sie ins Uferfiltrat und auch ins Grundwasser gelangen können, das uns als Trinkwasser dienen kann.

Die Konzentrationen der Röntgenkontrastmittel nehmen zwar von der Kläranlage über die Oberflächengewässer zum Grund- und Trinkwasser kontinuierlich ab, doch sind sie überall nachweisbar: Dies führt mit der Zeit zu einer Kumulation dieser Stoffe in der Umwelt. Es gibt nur sehr wenige Daten zum Abbau von Röntgenkontrastmittel. Eine Publikation des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen<sup>1</sup> beschreibt, dass Röntgenkontrastmittel in der Umwelt bestehen bleiben, ohne Übergang in andere Umweltkompartimente, wie zum Beispiel Luft, Boden oder Sediment. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass die wenigen Metaboliten, die sich von einigen Röntgenkontrastmitteln bilden, ebenfalls stabil sind.<sup>2</sup>

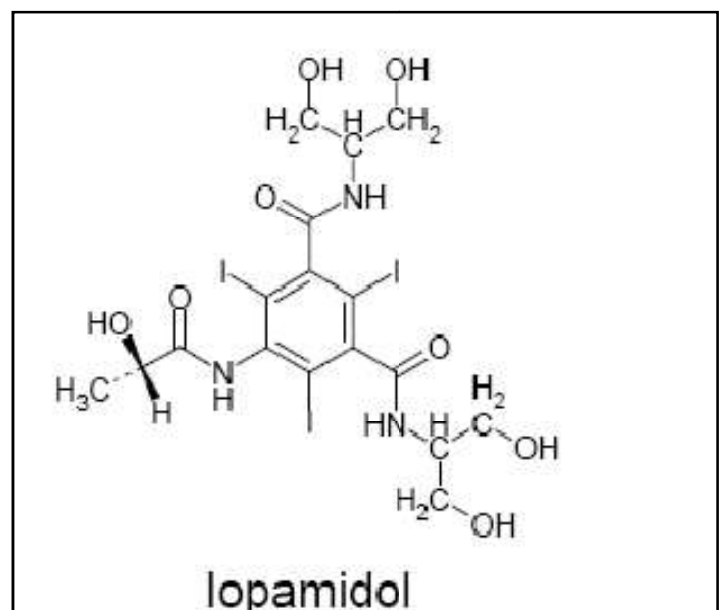
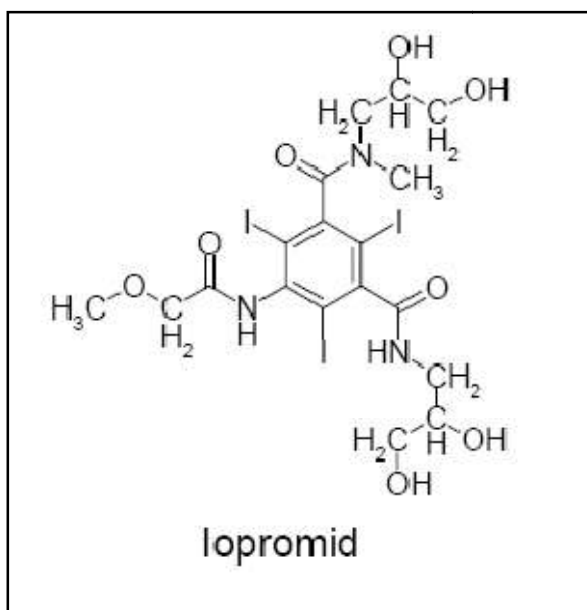
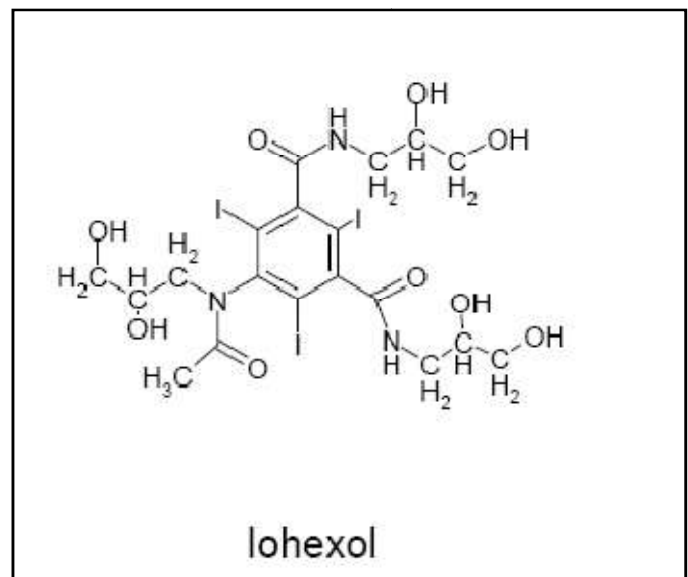
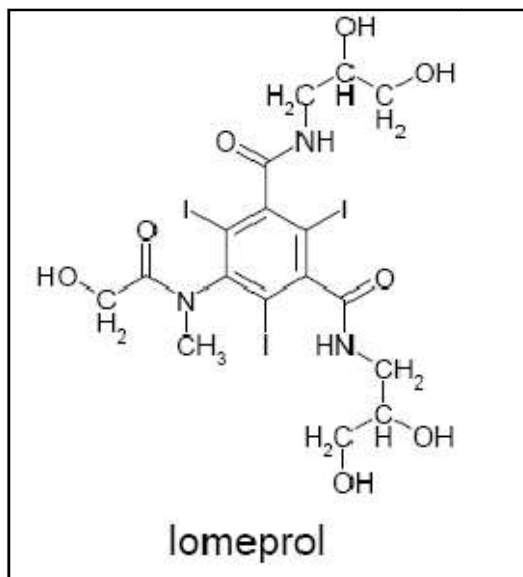
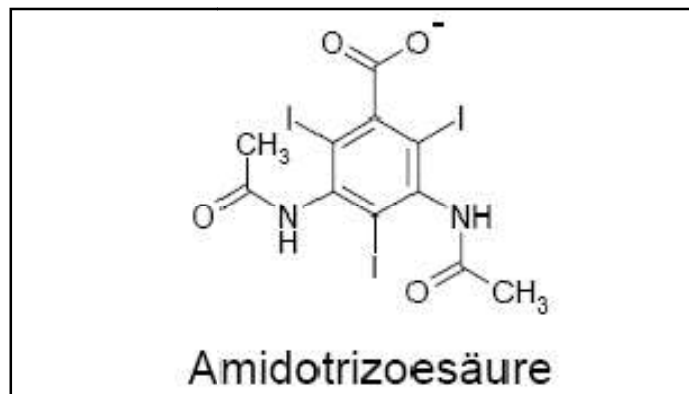
Es besteht sicher noch Forschungsbedarf, wie sich Röntgenkontrastmittel in der Umwelt verhalten, vor allem mit Blick auf die kontinuierliche Anreicherung der Stoffe.

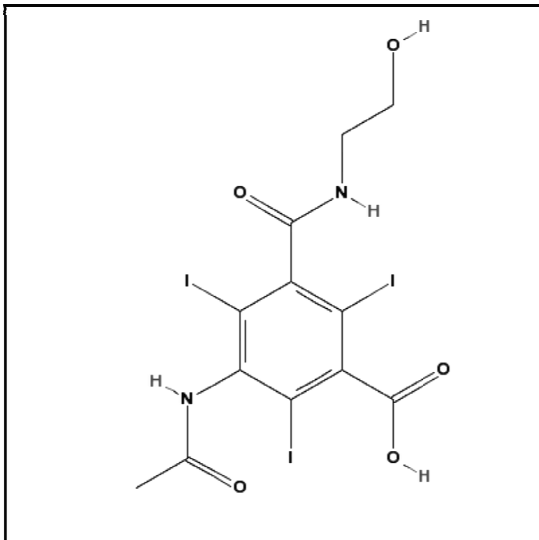
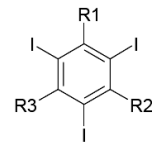
<sup>1</sup> Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2007; S. 102.

<sup>2</sup> Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2007; S. 101.

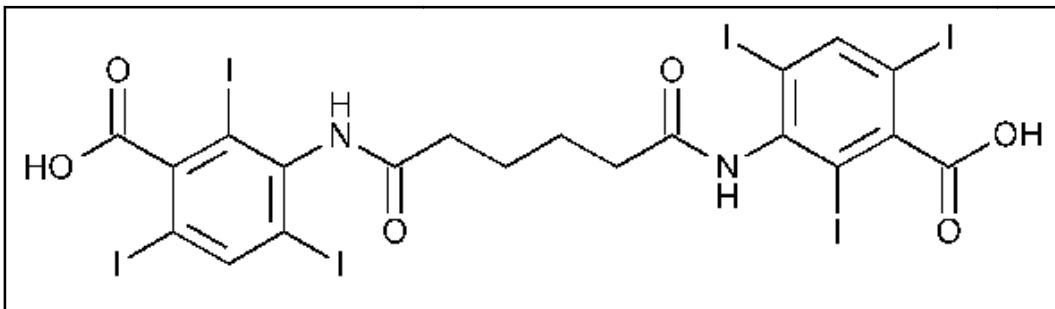


### 1.3. Die in Schaffhausen nachgewiesenen Röntgenkontrastmittel und ihre Strukturformel

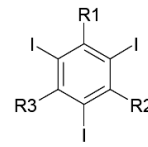




Ioxitalaminsäure



Iodipamid



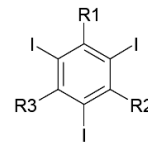
## Quellen zum Kapitel 1. Theorie

### 1.1.

- Dr. Prof. Ulrich Speck (1991). Röntgenkontrastmittel, Übersicht, Anwendung und pharmazeutische Aspekte. Springer Verlag (Heidelberg, Deutschland). S. 1-7.
- Prof. Carlo Del Favero (1995). Kontrastmittel – Eine multifaktorielle Betrachtung. Bracco S.p.A. (Mailand, Italien). S. 8-15.
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kontrastmittel>, 20.3.2008
- <http://oe1.orf.at/30563.html>, 7.4.2008

### 1.2.

- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie. Recklinghausen 2007.



## 2. Methoden

Urin macht zwar nur knapp ein Prozent des Abwasservolumens aus, ist aber für den Hauptteil der Nährstoffe im Abwasser verantwortlich. Etwa 88 % des Stickstoffs und 57 % des Phosphors im Abwasser stammen aus dem Urin. Mit dem Urin gelangen auch viele Mikroverunreinigungen, wie Medikamentenrückstände und hormonaktive Substanzen in das Abwasser.

Darum ist es wichtig das Abwasser genügend zu reinigen. Dazu gibt es die folgenden Methoden.

### 2.1. Kläranlage

Die Erhebung, wie viel Röntgenkontrastmittel nach der Kläranlage in den Rhein fließen, setzt Kenntnisse über das Kanalisationssystem im Kanton Schaffhausen voraus.

In der Schweiz wird die Kläranlage auch ARA (Abwasserreinigungsanlage) genannt. Sie reinigt das via Kanalisation gesammelte und transportierte Abwasser.

Zur Reinigung der unerwünschten Bestandteile im Abwasser werden mechanische, biologische und chemische Verfahren eingesetzt.

Das Abwassereinzugsgebiet der ARA Röti erstreckt sich über die Gemeinden Schaffhausen, Neuhausen am Rheinfall, Feuerthalen, Flurlingen, Hemmental, Büttenhardt, Stetten und Merishausen.

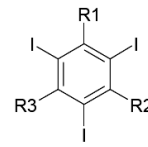
### Mechanische Reinigung

#### Rechenanlage

Nach Ankunft des Abwassers in der ARA erfolgt der erste Reinigungsschritt des Abwassers in der Rechenanlage. Im Rechen bleiben die größten Partikel, wie Toilettenpapier, Steine, Laub, Artikel der Monatshygiene, Präservative und auch tote Tiere hängen. Aus diesen Grobstoffen werden organische Stoffe maschinell ausgewaschen und dann in flüssiger Form wieder in den Abwasserstrom zurückgeführt. Die anderen Grobstoffe werden zusammengepresst und nach der Behandlung in der Kehrrechtbehandlungsanlage Hard in Beringen, einer externen Kehrrechtverbrennung, entsorgt.

#### Sandfang

Das von den groben Feststoffen befreite Abwasser fließt in den Sandfang. Durch kontinuierliche Belüftung setzen sich die schweren Teilchen von den leichten ab. Die leichten Teilchen sammeln sich an der Oberfläche, währenddessen schwerere, wie Sand und Kies, langsam absinken und regelmässig abgepumpt werden. Der Sand wird dann gewaschen und der Deponie Pflumm zugeführt. Die Deponie Pflumm liegt in Gächlingen und ist eine Multikomponentendeponie.



### Vorklärbecken

In einem Fettabscheider werden Fette und Öle aus dem Abwasserstrom entfernt und im Faulturm zu Klärgas umgewandelt. In dem Vorklärbecken ist die Fließgeschwindigkeit so niedrig, dass sich schwimmende Stoffe als Schlamm am Boden absetzen können. Auch dieser wird in den Faulturm transportiert.

### Biologische Reinigung

#### Belebtschlammbecken

Nach der mechanischen Reinigung, in der rund 30 % der Schmutzstoffbelastung aus dem Abwasser entfernt werden, folgt die biologische Reinigungsstufe. Sie ist komplexer, zeitaufwändiger und hat einen grösseren Raumbedarf.

In einem ersten Schritt werden gelöste organische und stickstoffhaltige Verschmutzungen wie Zucker, Harnstoff et cetera abgebaut, eliminiert und umgewandelt. Diese Aufgabe erledigen Mikroorganismen, die bei ausreichender Belüftung die Schmutzstoffe als Futter aufnehmen und sich dabei vermehren.

#### Nachklärbecken

In den Nachklärbecken setzt sich der Belebtschlamm (Ansammlung dieser Mikroorganismen) langsam auf dem Boden ab. Dieser Belebtschlamm wird kontinuierlich abgezogen und wird als Rücklaufschlamm zum grössten Teil in die Belebungsbecken zurückgeführt, wo die Arbeit der Mikroorganismen von Neuem beginnt. Der überschüssige Belebtschlamm wird jeden Tag in den Faulturm transportiert und fault dort unter sauerstoffarmen Bedingungen zu Klärschlamm aus.

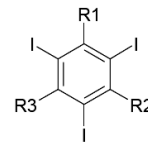
Nun ist das Abwasser gereinigt und es verlässt nach einer Endkontrolle die ARA Röti in Richtung Rhein.

### Faulturm

Im Faulturm leben anaerobe Mikroorganismen, die dafür sorgen, dass der Schlamm bei einer durchschnittlichen Temperatur von 38° C ausfault. Dabei entstehen Stoffe wie Methan und Kohlendioxid, die zu Klärgas umgewandelt werden. Dieses Klärgas wird der benachbarten IVF HARTMANN verkauft, die es als Betriebsstoff im Blockheizkraftwerk benützt.



Rundgang durch die ARA Röti mit Paul Brühlmann



## 2.2. Methoden zur Verhinderung der Abwasserkontamination durch Röntgenkontrastmittel

### 2.2.1. No Mix Toilette

Die No-Mix Toilette ist ein Projekt, das sich mit der Urin-Separierung in Haushalten beschäftigt. Momentan beschäftigt sich damit die Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG). Ihnen schwebt vor, den Urin schon am Entstehungsort abzuzweigen, zu verarbeiten und dann als Dünger wiederzuverwenden.

Momentan fließt der Urin mit allem anderen Abfall in die Kläranlage, wo er schon 200 bis 300mal verdünnt ankommt. So verdünnt ist es sehr schwierig umweltschädliche Stoffe aus dem Abwasser herauszutrennen.

In der No-Mix Toilette wird der Urin separat in einen Tank geleitet und später von den Haushalten zu Aufbereitungsanlagen transportiert. Für den Transport von den Haushalten zu den Aufbereitungsanlagen kämen Tankwagen, separate Leitungen oder die Nutzung der bestehenden Kanalisation in Frage. Könnte die bereits bestehende Kanalisation genutzt werden, würde der Urin in der Nacht transportiert. Während dieser Zeit ist die Kanalisation leer; deshalb könnten die Speicher gleichzeitig geöffnet werden, und der Urin flösse in Richtung Kläranlage.

Beim Verfahren der No Mix Toilette wird der Urin kurz vor der Kläranlage abgezweigt und in einen separaten Tank geleitet werden. Der Urin wird in einen Bioreaktor gegeben, wo Bakterien den Urin innerhalb von wenigen Tagen in Dünger umwandeln. Dabei verschwindet das Östrogen, ein weibliches Hormon, das auch in der Antibabypille vorkommt und die Gewässer belastet.

### 2.2.2. Vakuumtoiletten

Vakuumtoiletten kennt man heute vor allem aus Flugzeugen und Eisenbahnen. Vakuumtoiletten könnten aber auch Medikamentenrückstände im Abwasser reduzieren.

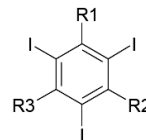
Bei Vakuumtoiletten werden die gesamten Ausscheidungen der Toilettenbenützer in einem Tank gespeichert. Die Ausscheidungen sind nur sehr geringfügig verdünnt, da nur wenig Wasser zum Spülen verwendet wird. Die Fäkalien werden dann zu Verbrennungsanlagen geführt.

### 2.2.3. Sammlung von Röntgenkontrastmittel in Urinsammelflaschen

Damit keine Röntgenkontrastmittel das Abwasser belasten, lässt man sie am besten gar nicht erst hineingelangen.

Den Patienten der Radiologie werden Urinsammelflaschen abgegeben. Der zurückgebrachte Urin wird in Verbrennungsanlagen entsorgt. Es gab bereits einen Pilotversuch in Berlin, Deutschland, der zeigte, dass dieses System funktionieren kann.





## 2.2.4. Ozonierung



Sauerstofftank in der ARA Wüeri

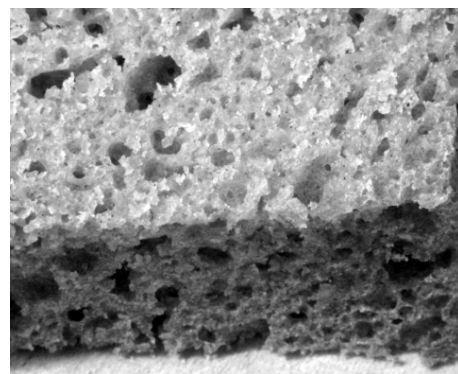
Eine Möglichkeit, die in der Kläranlage ansetzt, ist die Ozonierung. Dabei wird aus einem Sauerstofftank flüssiger Sauerstoff in einen Verdampfer geleitet. Dort wird der flüssige Sauerstoff in Ozon umgewandelt und ins Abwasser geleitet. Ozon reagiert mit dem Abwasser und es bilden sich Hydroxylradikale, die eine Vielzahl von Substanzen angreifen, und ihre chemischen Verbindungen aufbrechen. Danach beginnt der biologische Abbau, denn nun können die Mikroorganismen die Substanzen besser eliminieren. Die Ozonierung ist aber für die Entfernung von Röntgenkontrastmittel aus dem Abwasser eher ungeeignet, da der Eliminationsgrad nicht besonders hoch ist. Iopamidol wird beispielsweise nur 10-50 % eliminiert, bei Iopromid liegen die Werte sogar eher tiefer.<sup>3</sup>

Ein Pilotprojekt zur Ozonierung in Kläranlagen wurde im Jahr 2006 in Regensdorf in der ARA Wüeri gestartet.<sup>4</sup>

## 2.2.5. Aktivkohle

Aktivkohle ist eine feinkörnige Kohle, mit einer grossen Oberfläche. Aktivkohle dient als Adsorptionsmittel in der Chemie, Medizin, Wasser- und Abwasserbehandlung, sowie in der Lüftungs- und Kältetechnik.<sup>5</sup>

Aktivkohle wird zur Abwasserreinigung als sogenannte Aktivkohlefilter verwendet. In diesen bindet die Kohle Schadstoffe, die biologisch schwer oder gar nicht abzubauen sind. Dieses Prinzip beruht auf der Adsorption.



Aktivkohle unter dem Mikroskop

Dabei lagern sich Ionen oder Moleküle an der Oberfläche der Aktivkohle an. Der adsorbierende Stoff, hier Aktivkohle, muss über eine sehr große innere Oberfläche verfügen. Dies ist bei der Aktivkohle gegeben, entspricht die innere Oberfläche von 4 Gramm Aktivkohle doch ungefähr der Fläche eines Fussballfeldes.<sup>5</sup>

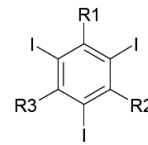
Im Gegensatz zur Ozonierung ist beim Verfahren mit Aktivkohle klar einen Erfolg zu sehen. Mit Dosismengen von 20 mg/L sind je nach Kontrastmittel Eliminationsraten von 90 % möglich.

In der ARA Vidy bei Lausanne wird momentan ein Pilotprojekt durchgeführt.

<sup>3</sup> Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2007; S. 170

<sup>4</sup> Bundesamt für Umwelt (BAFU); Informationsblatt Nr. 3: Projekt: „Strategie: MicroPoll“, Mai 2008

<sup>5</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Aktivkohle>, 18.10.2008



## Quellen zum Kapitel 2. Methoden

### 2.1.

- Broschüre araröti. 2006 zur Eröffnung der neuen ARA Röti.
- <http://de.wikipedia.org/wiki/KI%C3%A4ranlage>, 7.4.2008

### 2.2.1.

- <http://www.ch-forschung.ch/index.php?artid=242>, 8.5.2008
- <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/bstuecke/1619/index.html>, 8.5.2008

### 2.2.2.

- [http://library.eawag.ch/EAWAG-Publications/pdf/Eawag\\_05045.pdf](http://library.eawag.ch/EAWAG-Publications/pdf/Eawag_05045.pdf), 8.5.2008

### 2.2.3.

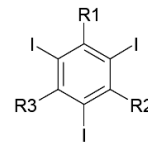
- [http://library.eawag.ch/EAWAG-Publications/pdf/Eawag\\_05045.pdf](http://library.eawag.ch/EAWAG-Publications/pdf/Eawag_05045.pdf), 8.5.2008

### 2.2.4.

- Manuela Gallati. Ozonierung modernisiert die Abwasserreinigung. Schweizer Gemeinde September 2007. S. 19-20.

### 2.2.5.

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Aktivkohle>, 18.10.2008
- Bild Aktivkohle:  
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bild:Aktivkohlerp.jpg&filetimestamp=20060819132533>, 18.10.2008
- <http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/aktivkohlefilter.htm>, 18.10.2008
- <http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/adsorption.htm>, 18.10.2008
- Steffen Metzger, Helmut Kapp, Wolfram Seitz, Walter H. Weber, Georg Hiller, Wolfgang Süssmuth. Entfernung von iodierten Röntgenkontrastmitteln bei der kommunalen Abwasserbehandlung durch den Einsatz von Pulveraktivkohle. Nr. 9 Wasser-Abwasser 2005. S. 146.



### 3. Momentane Situation (Rohresultate)

#### 3.1. Schaffhausen

##### 3.1.1. Abwasserreinigungsanlage (ARA) Röti in Neuhausen

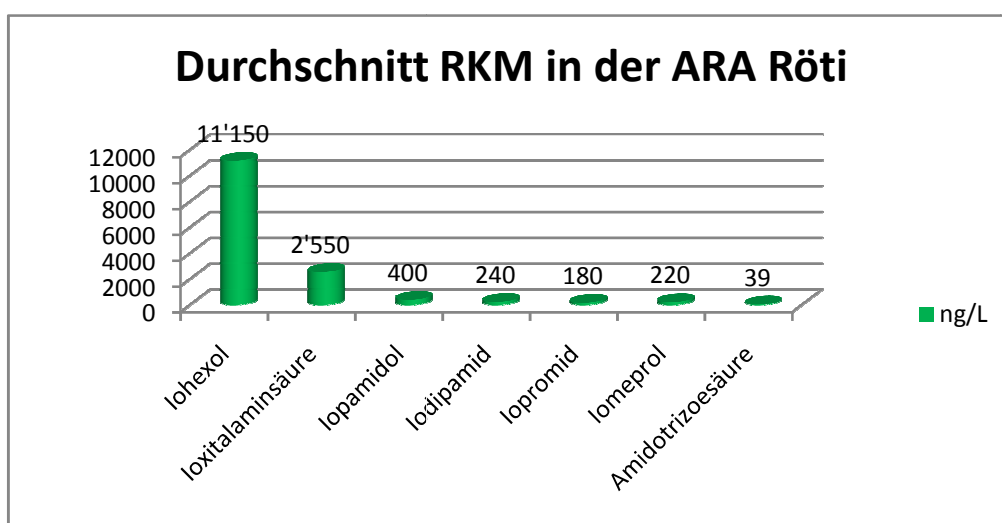
Die ARA Röti ist im Kanton die Kläranlage mit dem grössten Anteil von Schaffhauser Abwasser. Sie behandelt das Abwasser der Gemeinden Schaffhausen, Neuhausen am Rheinfall, Feuerthalen, Flurlingen, Hemmental, Bütthenhardt, Stetten und Merishausen, was einem Einwohnergleichwert<sup>6</sup> von 100'000 Personen entspricht.

Speziell für diese Arbeit wurden im Ablauf der Kläranlage im Zeitraum vom 15.4.-19.4.2008 und 22.4.-26.4.2008 zwei 5-Tages-Mischproben beauftragt, filtriert und via dem Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz (ALU) am Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe mittels LC-MS-MS (Flüssigchromatographie mit Tandem Massenspektrometer-Detektion) analysiert.

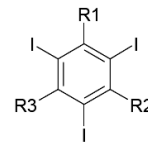
Mittelwerte der Proben am Ablauf der ARA Röti in Neuhausen. Die Frachten g/d dargestellt in Gramm pro Tag wurden mit einem mittleren Ablauf von 51'756 m<sup>3</sup>/d respektive 22'563 m<sup>3</sup>/d berechnet.

RKM	ng/L
Iohexol	11'150
Ioxitalaminsäure	2'550
Iopamidol	400
Iodipamid	240
Iopromid	180
Iomeprol	220
Amidotrizoesäure	39

RKM	g/d
Iohexol	343.5
Ioxitalaminsäure	83.8
Iopamidol	11.0
Iodipamid	8.8
Iopromid	7.4
Iomeprol	5.0
Amidotrizoesäure	0.9



<sup>6</sup> Einwohnergleichwert entspricht Anzahl Einwohnern im Einzugsgebiet einer Kläranlage. Dazu kommt das Abwasser der Industrie. Verursacht ein Industriebetrieb das Abwasser von 150 Einwohnern, so sind dies 150 Einwohnergleichwerte. (Quelle: Broschüre araröti, 2006 zur Eröffnung der neuen ARA Röti)



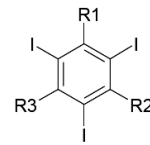
Im Ablauf der Kläranlage Röti in Neuhausen wurden sieben Röntgenkontrastmittel nachgewiesen. Klar ersichtlich ist ein Spitzenreiter, Iohexol. Auf Iohexol folgt Ioxitalaminsäure, das aber eine viermal tiefere Konzentration aufweist. Die übrigen nachgewiesenen Röntgenkontrastmittel sind viel geringer vertreten.

Ein interessanter Ansatz, um Frachten von Mikroverunreinigungen aus Abwasserreinigungsanlagen abzuschätzen, wird an der EAWAG mit dem Nationalen Stoff-Flussmodell<sup>7</sup> verfolgt. Folgende Grössen haben Einfluss auf das Nationale Stoff-Flussmodell:

- Verbrauchsmengen der zu untersuchenden Substanz
- Anteil der Substanz, welche nach der Anwendung unverändert in die Kanalisation gelangt
- Standort, Einleitstelle ins Gewässer und Anzahl angeschlossene Einwohner für jede ARA
- Eliminationsleistung der ARA bezüglich ausgewählter Mikroverunreinigungen
- Topologisches Netzwerk aller Oberflächengewässer
- Abbau im Gewässer

Für Röntgenkontrastmittel liegen gemäss Christoph Ort noch keine validierten Daten vor. Jedoch konnte von Christoph Ort am 9. April 2008 an der EAWAG für das Röntgenkontrastmittel Iomeprol für die ARA Röti eine Fracht von 30 g/d abgeschätzt werden.

<sup>7</sup> Dr. Christoph Ort; Nationales Stoffflussmodell – Mikroverunreinigungen aus Abwasserreinigungsanlagen



### 3.1.2. ARA Hallau (Klettgau)

Die ARA Hallau in Klettgau entspricht etwa dem Einwohnergleichwert von 20'000. Zum Einzugsgebiet der ARA Hallau gehören die Dörfer Hallau, Wilchingen, Neunkirch, Beringen, Oberhallau, Gächlingen, Siblingen und Löhningen.

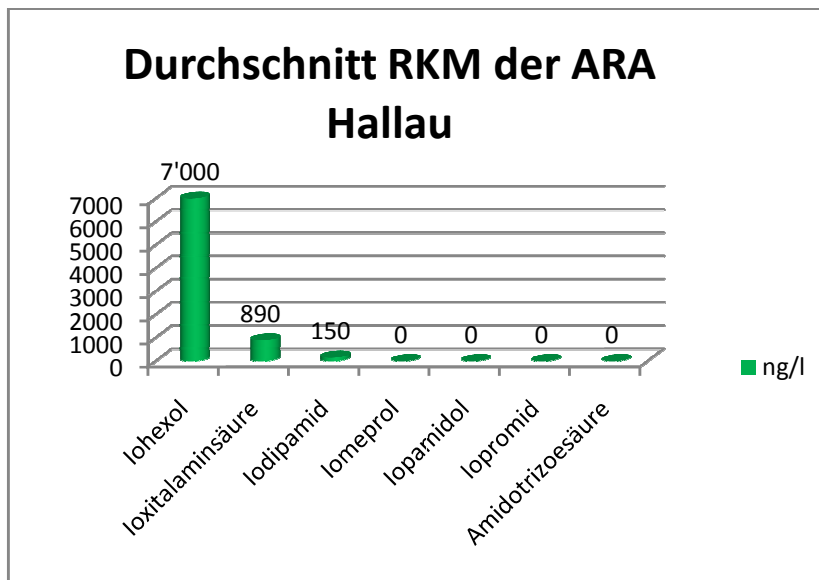
Im Ablauf der Kläranlage wurde im Zeitraum vom 15.4. - 19.4.2008 eine 5-Tages-Mischprobe, speziell für diese Arbeit, beauftragt, filtriert und am Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe analysiert. Die Frachten wurden mit einem mittleren Ablauf von 8'554 m<sup>3</sup>/d berechnet.

Mittelwerte der Proben am Ablauf der ARA Röti in Neuhausen:

RKM	ng/l
Iohexol	7'000
Ioxitalaminsäure	890
Iodipamid	150
Iomeprol	< BG
Iopamidol	< BG
Iopromid	< BG
Amidotrizoesäure	< BG

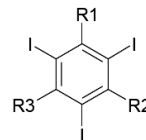
RKM	g/d
Iohexol	60.0
Ioxitalaminsäure	7.6
Iodipamid	1.3
Iomeprol	-
Iopamidol	-
Iopromid	-
Amidotrizoesäure	-

< BG = unter Bestimmungsgrenze von 50 ng/L



0 = unter Bestimmungsgrenze von 50 ng/L

Auch bei diesen Messungen hebt sich Iohexol ganz klar von den anderen ab. Wie auch in der ARA Röti folgt Ioxitalaminsäure. Iopamidol, das in der ARA Röti als drittstärkstes Mittel nachgewiesen wird, liegt in der ARA Hallau unter der Bestimmungsgrenze, dafür weist man Iodipamid nach.



### 3.1.3. ARA Bibertal-Hegau

Die ARA Bibertal-Hegau liegt zwischen Ramsen und Hemishofen an der Biber und hat einen Einwohnergleichwert von 140'000. Sie reinigt auch das Abwasser von acht deutschen Gemeinden. Folgende Gemeinden gehören zu ihrem Einzugsgebiet: Aach, Engen, Gottmadingen, Hilzingen, Mühlhausen-Ehingen, Rielasingen-Worblingen, Singen und Volkertshausen auf deutscher Seite. Buch, Lohn, Ramsen und Thayngen auf Schweizer Seite.

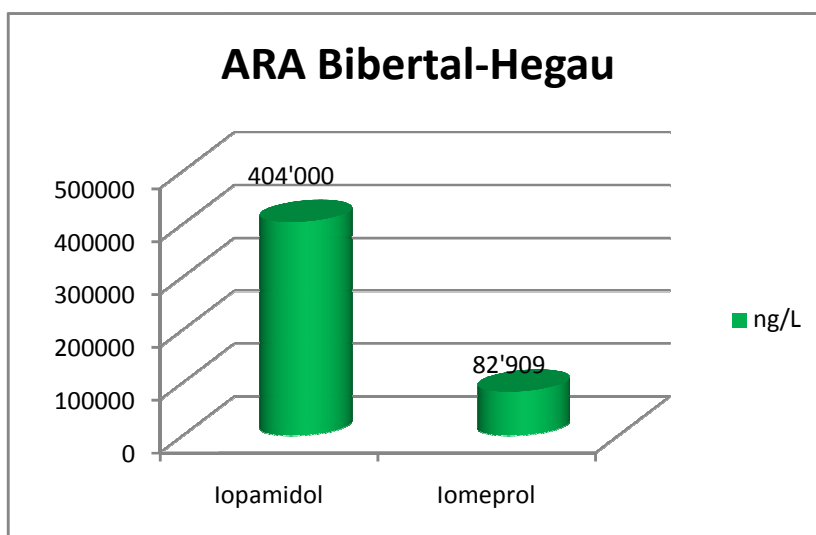
Im Auftrag vom Regierungspräsidium Freiburg wurden im Ablauf der Kläranlage zehn Tagesmischproben vom Kläranlagenpersonal erhoben und am Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe analysiert. Die Ergebnisse wurden freundlicherweise vom Betriebsleiter der Kläranlage, Klaus Bölling, für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Mittelwerte der Tagesmischproben vom 4.2.-13.2.2008 am Ablauf der ARA Bibertal-Hegau

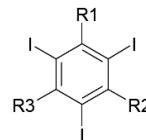
RKM	ng/L
lomeprol	82'909
lopamidol	404'000

Bestimmungsgrenze von 10 µg/L

RKM	g/d
lomeprol	2'770
lopamidol	13'500



Im Ablauf der ARA Bibertal-Hegau weist man nur lomeprol und lopamidol nach. Vergleicht man die Werte mit denen von der ARA Röti und ARA Hallau erkennt man, dass die Zahlen um ein Vielfaches höher sind. Iohexol, das sowohl in der ARA Röti als auch in der ARA Hallau der am stärksten nachgewiesene Stoff ist, wird in der ARA Bibertal-Hegau überhaupt nicht nachgewiesen.



### 3.1.4. Röntgenkontrastmittel im Grundwasser

Probennahmen vom Mai 2007; durchgeführt vom ALU und analysiert vom TZW Karlsruhe

	Amidotrioesäure	lopamidol	loxitalaminsäure	
Dörfingen (Rheinfiltrat)	5	n.n.	n.n.	ng/L
Schaffhausen (Lindli, Uferfiltrat)	14	14	2	ng/L
Neuhausen (Brunnen bei Rheinfallbecken)	14	7	2	ng/L
Schleitheim (Wutach, Oberwiesen)	8	n.n.	n.n.	ng/L
Hallau (Wutach, Wunderklingen)	21	n.n.	n.n.	ng/L

n.n. = nicht nachweisbar

Im Grundwasser von Schaffhausen und Umgebung sind auch einzelne Röntgenkontrastmittel vorzufinden. Namentlich Amidotrioesäure, lopamidol und loxitalaminsäure. Das Grundwasser wird in Schaffhausen auch als Trinkwasser genutzt.

### 3.1.5. Pseudofrachten Schaffhausen

Da im Rhein für Schaffhausen keine Messungen zu Röntgenkontrastmittel vorliegen, wurden ungefähre Frachten berechnet. (Im Folgenden „Pseudofracht“ genannt.)

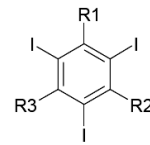
Diese wurde anhand der mittleren Jahreskonzentrationen der Röntgenkontrastmittel im Bodensee und der mittleren Abflussraten des Rheines bei Flurlingen berechnet.

Die so berechnete Pseudofracht für Schaffhausen stellt eine erste Näherung für die im Minimum zu erwartende mittlere Fracht im Rhein bei Schaffhausen dar.

Mittlerer Abfluss Rhein bei Flurlingen<sup>8</sup> **331 m<sup>3</sup>/sec**

RKM		Nachgewiesene Konzentrationen im Bodensee (in ng/L)	Pseudofrachten 2007 im Rhein bei SH (in g/d)
Amidotrioesäure	Mittelwert	22.0	629
Iohexol	Mittelwert	12.0	343
Iopremol	Mittelwert	28.5	815
Iopamidol	Mittelwert	32.0	915
Iopromid	Mittelwert	16.0	458
Iodipamid	kleiner als	10.0	286
Iopansäure	kleiner als	10.0	286
Iotalaminsäure	kleiner als	10.0	286
Ioxaglinsäure	kleiner als	10.0	286
Ioxitalaminsäure	kleiner als	10.0	286

<sup>8</sup> Mittlerer Abfluss des Rheines (Neuhausen, Flurlingerbrücke) 2007;  
<http://www.hydrodaten.admin.ch/d/2288.htm>, 20.8. 2008

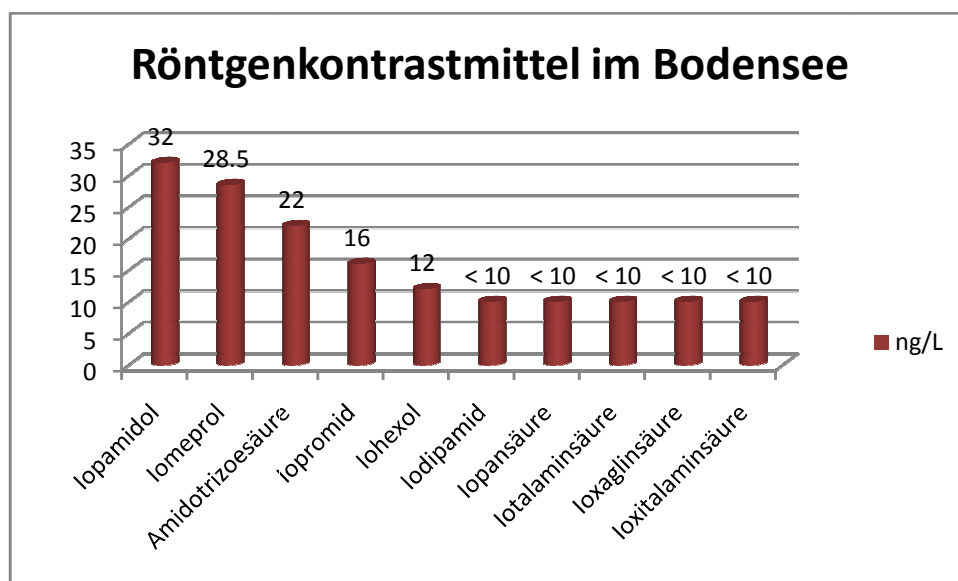


### 3.2. Bodensee

Die Proben des Bodensees stammen aus dem Rohwasser des Überlinger Sees und der Entnahmestelle der ZV Bodensee-Wasserversorgung in Sipplingen.

Die Proben wurden am 11.1. / 8.3. / 6.9. / 8.11.2007 entnommen. Die Berechnung der Konzentrationen erfolgte über den Mittelwert, wobei der höchste und der tiefste Wert gestrichen wurden.

RKM		ng/L
Iopamidol	Mittelwert	32.0
Iomeprol	Mittelwert	28.5
Amidotrizoesäure	Mittelwert	22.0
Iopromid	Mittelwert	16.0
Iohexol	Mittelwert	12.0
Iodipamid	kleiner als	10.0
Iopansäure	kleiner als	10.0
Iotalaminsäure	kleiner als	10.0
Ioxaglinsäure	kleiner als	10.0
Ioxitalaminsäure	kleiner als	10.0

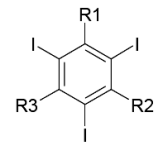


<10 = unter der Bestimmungsgrenze von 10 ng/L

Im Bodensee ist das Röntgenkontrastmittel Iopamidol am häufigsten vertreten. Darauf folgen Iomeprol, Amidotrizoesäure und Iopromid. Iohexol, welches in den Schaffhauser Kläranlagen mit den höchsten Konzentrationen nachgewiesen wird, ist im Bodensee nur mit 12 ng/L vertreten.

Iodipamid, Iopansäure, Iotalaminsäure, Ioxaglinsäure und Ioxitalaminsäure befinden sich unterhalb der Bestimmungsgrenze von 10 ng/L.

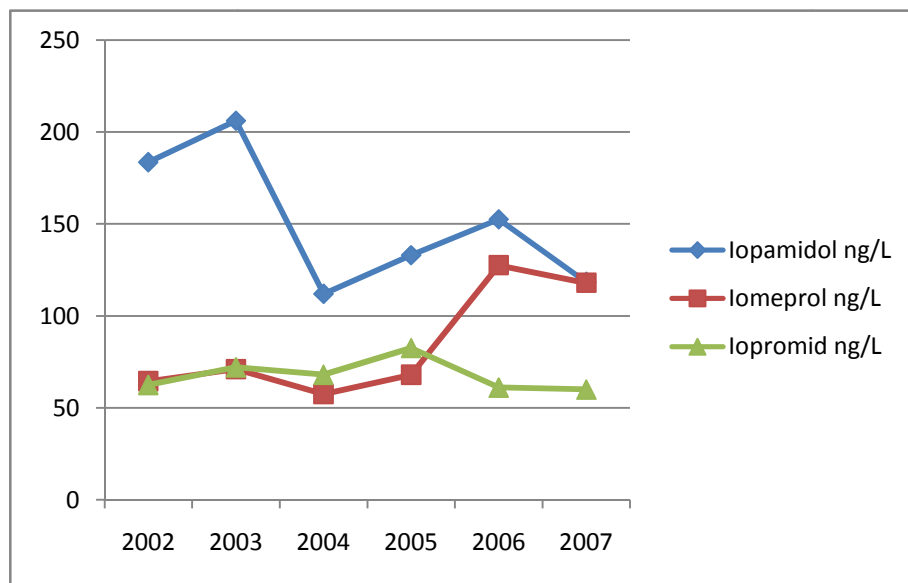




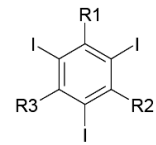
### 3.3. Basel

Von mindestens 12 Tagesproben wurde ein Mittelwert gebildet.

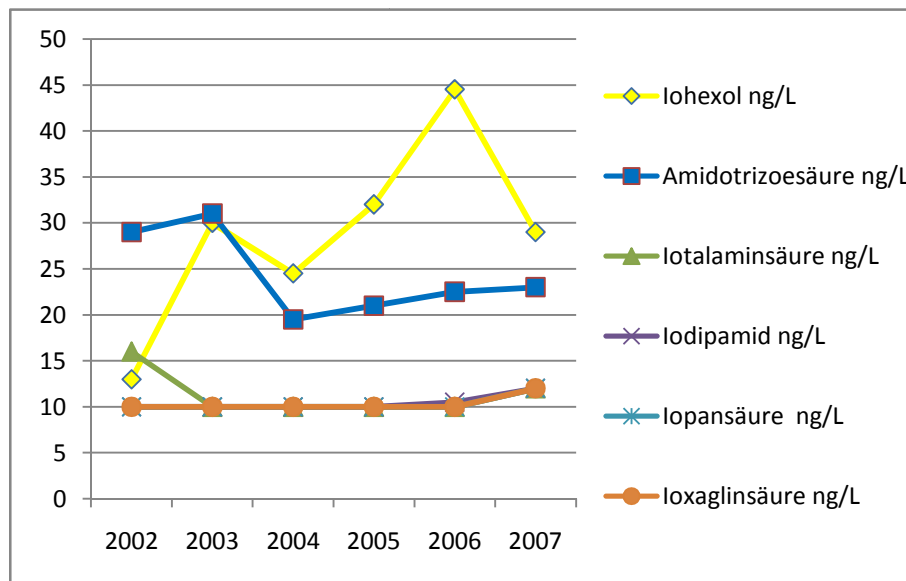
RKM	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	Mittelwert
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
lopamidol	183.5	206.0	112.0	133.0	152.5	118.5	150.9
lomeprol	64.5	71.0	57.5	68.0	127.5	118.0	84.4
lopromid	62.5	72.0	68.0	82.5	61.0	60.0	67.7



Nach Basel wird im Rhein das Röntgenkontrastmittel lopamidol und lomeprol am häufigsten nachgewiesen. Als drittes folgt lopromid. Verfolgt man die Kurve in die Vergangenheit, erkennt man, dass lopamidol früher das am stärksten nachgewiesene Kontrastmittel war, 2004 fiel der Anteil aber plötzlich stark ab. Nach dem Jahre 2004 legt lomeprol wieder zu und bis in das Jahr 2007 haben sich diese beiden Kontrastmittel eingependelt und werden beinahe in gleichen Mengen nachgewiesen.

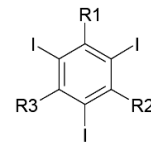


RKM	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	Mittelwert ng/L
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
lohexol	13.0	30.0	24.5	32.0	44.5	29.0	28.8
Amidotrizoesäure	29.0	31.0	19.5	21.0	22.5	23.0	24.3
Iotalaminsäure	16.0	< 10	< 10	< 10	< 10	12.0	11.3
Iodipamid	< 10	< 10	< 10	< 10	10.5	12.0	10.4
Iopansäure ng/L	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	12.0	10.3
Ioxaglinsäure	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	12.0	10.3

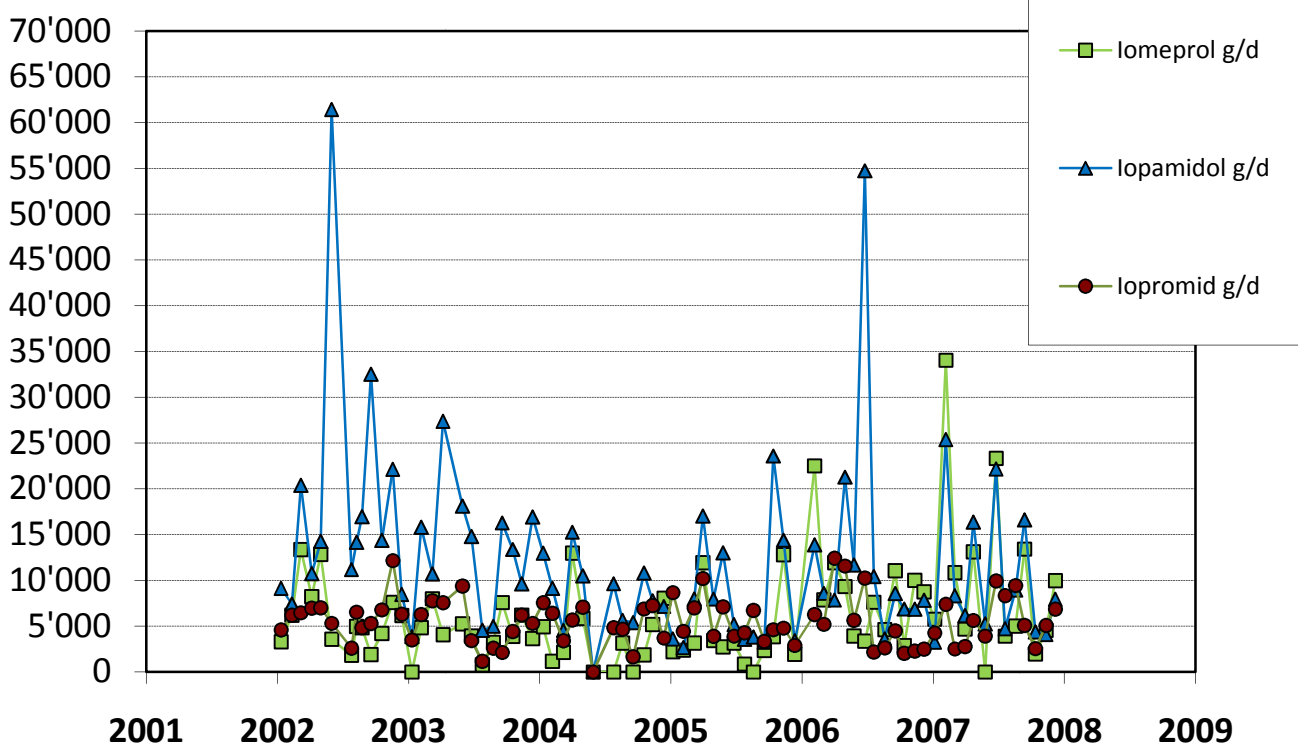


Auf die drei am stärksten nachgewiesenen Kontrastmittel, Iopamidol, Iomeprol und Iopromid folgen Iohexol und Amidotrizoesäure. Wobei Iohexol und Amidotrizoesäure weniger als die Hälfte ausmachen.

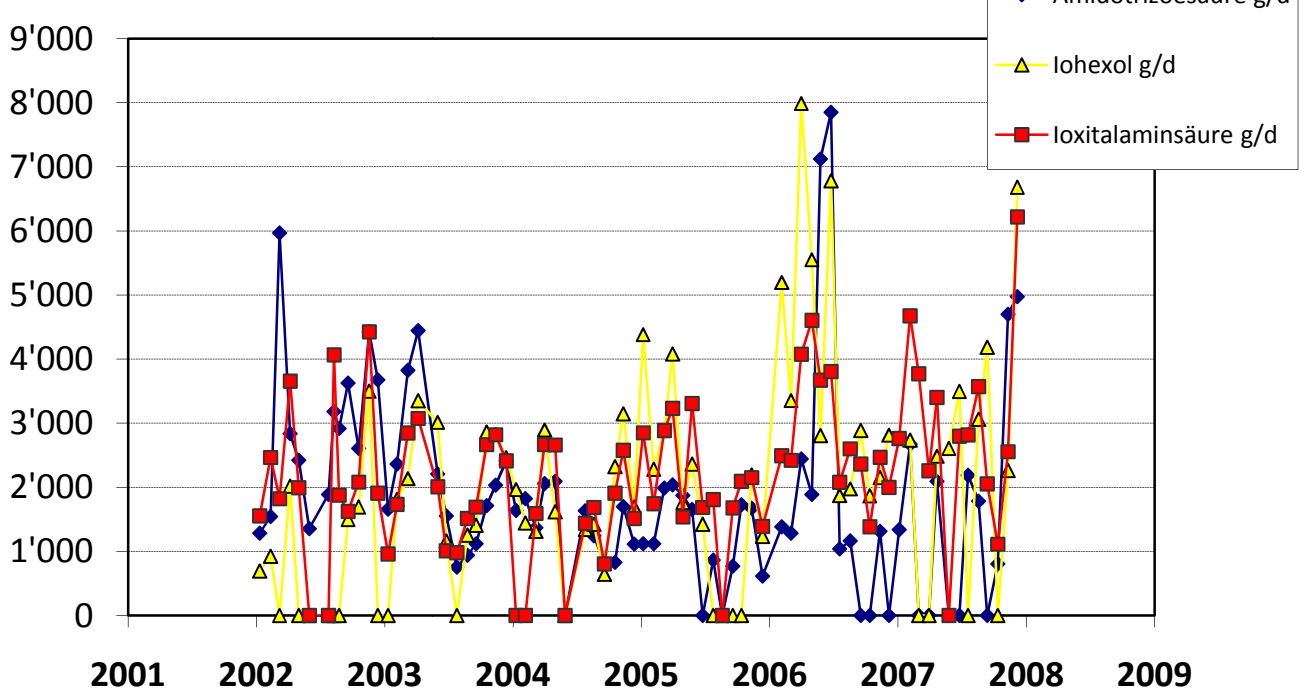
Iohexol wird zwischen 2004 und 2006 steigend nachgewiesen, im Jahre 2007 jedoch konnten nur noch 65 % des Anteils von 2006 nachgewiesen werden. Iodipamid, Iopansäure, Ioxaglinsäure und Iotalaminsäure werden alle seit 2002 in ähnlichen Konzentrationen nachgewiesen.

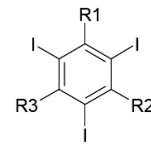


## Röntgenkontrastmittel im Rhein bei Basel



## Röntgenkontrastmittel im Rhein bei Basel





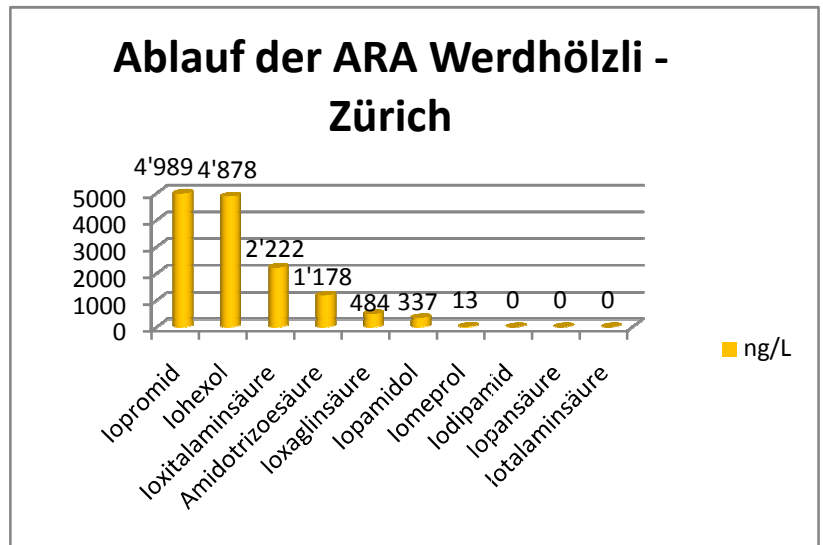
### 3.4. Zürich

#### 3.4.1. ARA Werdhölzli

Diese Proben stammen aus dem Ablauf der ARA Werdhölzli-Zürich und sind Durchschnittswerte.

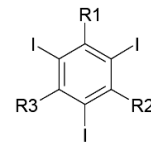
Die ARA Zürich-Werdhölzli hat einen Einwohnergleichwert von 670'000, sie reinigt das Abwasser der ganzen Stadt Zürich, sowie von Teilen angrenzender Gemeinden.

RKM	ng/L
Iopromid	4'989
Iohexol	4'878
Ioxitalaminsäure	2'222
Amidotrizoesäure	1'178
Ioxaglinsäure	484
Iopamidol	337
Iomeprol	13
Iodipamid	< 50
Iopansäure	< 50
Iotalaminsäure	< 50



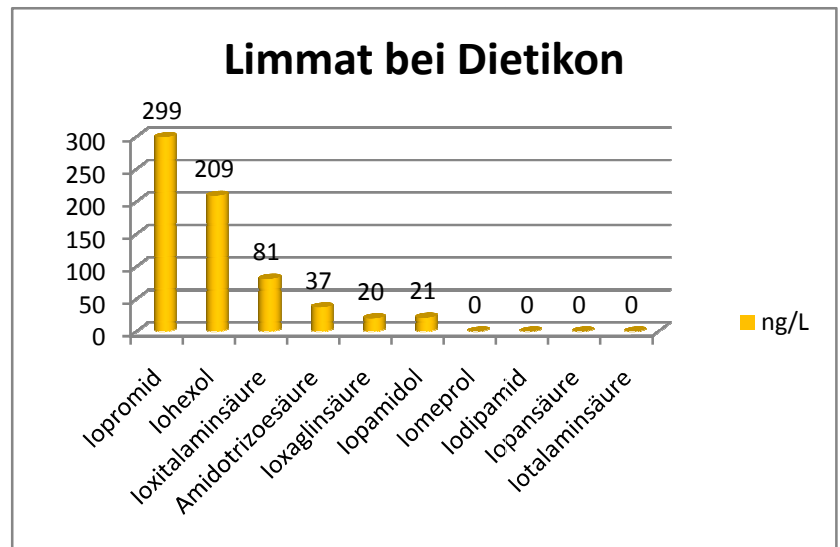
0 = unter der Bestimmungsgrenze von 50 ng/L

In der ARA Werdhölzli-Zürich werden die Röntgenkontrastmittel Iopromid und Iohexol am stärksten nachgewiesen. Im Vergleich zur ARA Röti in Schaffhausen werden in Zürich viel mehr verschiedene Röntgenkontrastmittel nachgewiesen, aber kein Mittel erreicht den Wert von Iohexol in Schaffhausen von 7000 ng/L.



### 3.4.2. Limmat bei Dietikon

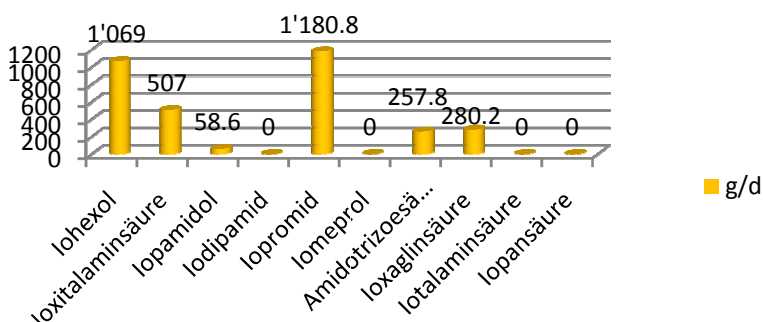
RKM	ng/L
Iopromid	299
Iohexol	209
Ioxitalaminsäure	81
Amidotrizoesäure	37
Ioxaglinsäure	20
Iopamidol	21
Iomeprol	< 10
Iodipamid	< 10
Iopansäure	< 10
Iotalaminsäure	< 10



0 = unter der Bestimmungsgrenze von 10 ng/L

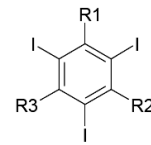
Wie beim Abfluss der ARA Werdhölzli-Zürich sind in der Limmat Iopromid und Iohexol die Spitzenreiter der nachgewiesenen Kontrastmittel. Auch bei den übrigen Stoffen besteht die gleiche Reihenfolge wie beim Abfluss der ARA Werdhölzli -Zürich. Wie aber sofort zu erkennen ist, sind die Konzentrationen einiges tiefer. Dieser Unterschied entsteht durch die stärkere Verdünnung, die in der Limmat stattfindet.

### Durchschnittliche Tagesfrachten der RKM in der Limmat



0 = nicht nachzuweisen (n.n.)

RKM	g/d
Iohexol	n.n.
Ioxitalaminsäure	1'069.0
Iopamidol	507.0
Iodipamid	58.6
Iopromid	n.n.
Iomeprol	1'180.8
Amidotrizoesäure	n.n.
Ioxaglinsäure	257.8
Iotalaminsäure	280.2
Iopansäure	n.n.



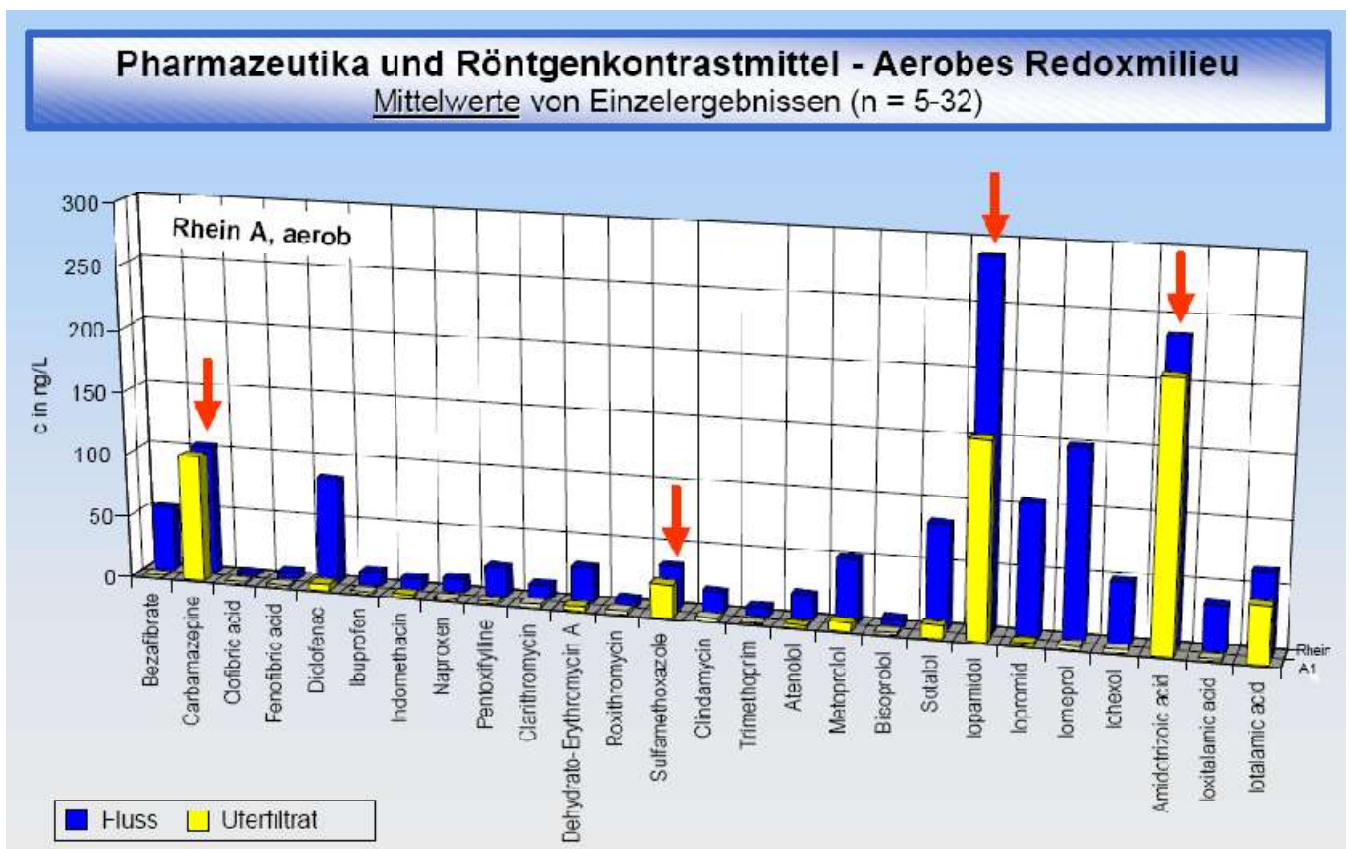
### 3.5. Elimination von Röntgenkontrastmittel in Kläranlagen

Eliminationsgrade der als umweltrelevant klassifizierten Arzneistoffe durch Uferfiltration.

(generalisierter Eliminationsgrad: - : < 10 %, o: 10 – 50 %, +: 50 – 90 %, ++: > 90 %)

	aerob	Einstufung	suboxisch	Einstufung	anoxisch	Einstufung	anaerob	Einstufung
Iomeprol	> 80 %	++	> 80 %	++	> 80 %	++	> 80 %	++
Iopamidol	< 10 % , 26-50 % , schlecht	- bis o	51 - 70 %	+	> 70 %	+	> 80 %	++
Iopromid	50 - 90 % , > 80 % , > 90 %	+ bis ++	> 80 %	++	> 80 %	++	> 80 % , > 90 %	++

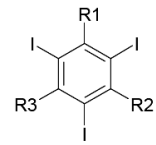
Quelle: Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie, LANUV-Fachbericht 2; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2007; S. 165



Quelle: Arzneimittelrückstände und andere Verunreinigungen – Quellen, Eintragspfade und Vorkommen im Rhein; Hans-Jürgen Brauch und Frank Sacher; DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe

Beim Übergang vom Oberflächenwasser zum Uferfiltrat findet ein Abbau bei den Röntgenkontrastmitteln statt. Iomeprol, Iohexol, Ioxitalaminsäure und Iopromid werden zu ungefähr 100 % abgebaut.

Bei Iopamidol beträgt die Abbaurate noch 50 % und Amidotrizoesäure wird nur gerade zu knapp 15 % abgebaut.

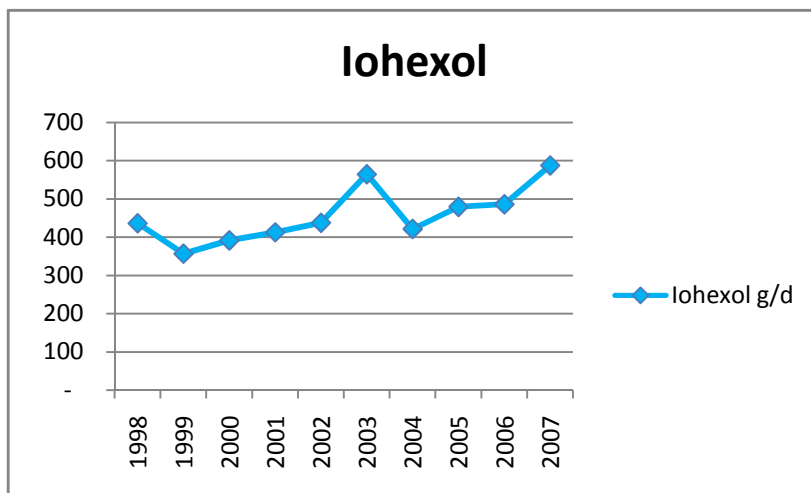


### 3.6. Verkaufszahlen der Röntgenkontrastmittel im Kantonsspital Schaffhausen

Die verkauften Röntgenkontrastmittel des Kantonsspitals Schaffhausen sind Iohexol, Ioxitalaminsäure und Iopamidol. In der Klinik Belair werden keine Röntgenkontrastmittel verwendet.

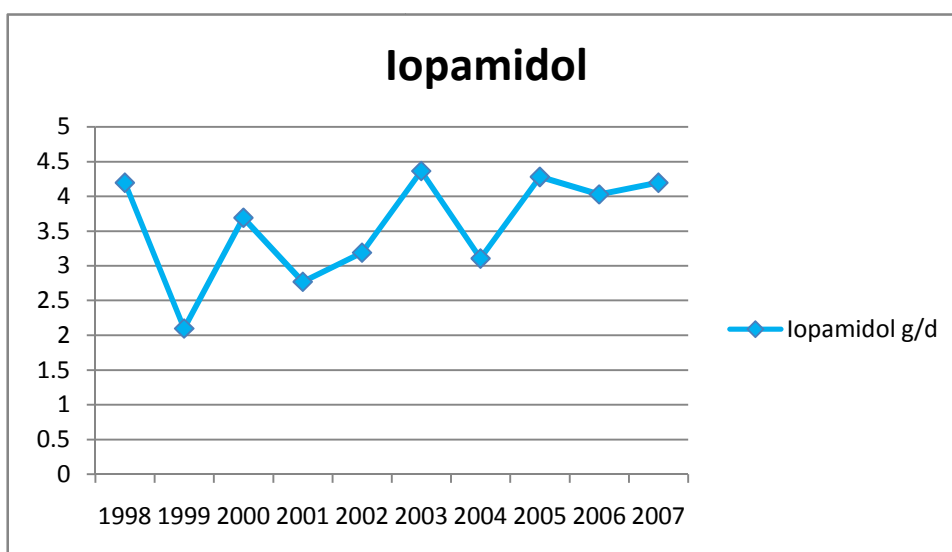
#### 3.6.1. Iohexol

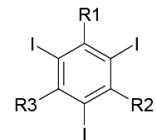
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Iohexol g/d	436	357	391	413	437	564	421	479	486	587



#### 3.6.2. Iopamidol

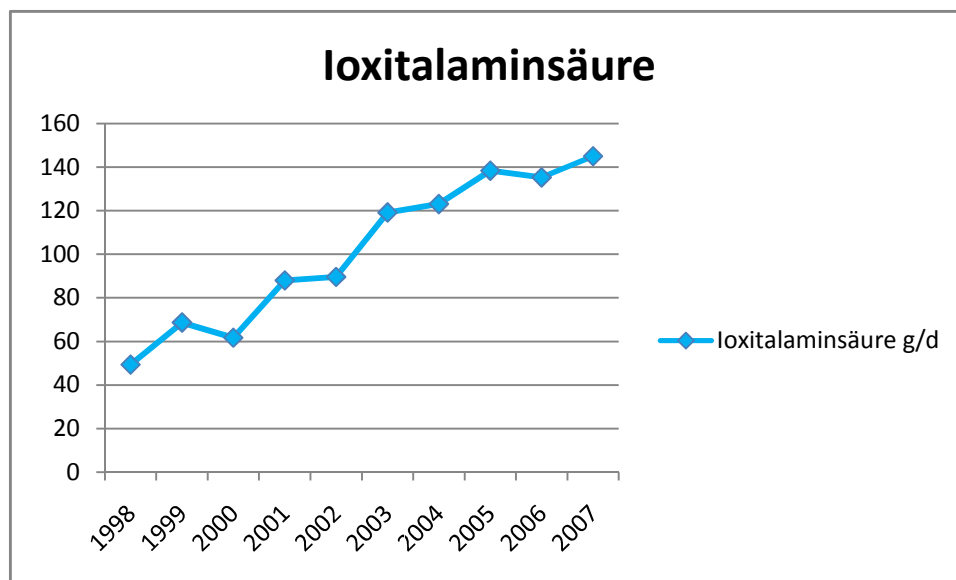
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Iopamidol g/d	4.2	2.1	3.7	2.8	3.2	4.4	3.1	4.3	4	4.2



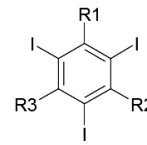


## 3.6.3. Ioxitalaminsäure

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Ioxitalaminsäure g/d	49.3	68.6	61.6	87.9	89.5	119.1	123	138.3	135.2	145







### Quellen zum Kapitel 3. Momentane Situation (Rohresultate)

#### 3.1.1.

- Daten der ARA Röti:  
Messung vom Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz Schaffhausen (im Weiteren mit ALU abgekürzt) (15.4. - 19.4. 2008 und 22.4. – 26.4. 2008)
- Informationen über ARA Röti:  
Broschüre araröti. 2006 zur Eröffnung der neuen ARA Röti. S.15.

#### 3.1.2.

- Daten der ARA Hallau:  
Messung des ALU (15.4. - 19.4. 2008)
- Informationen über die Kläranlage Hallau:  
[http://www.umweltschutz-sh.ch/NEU\\_06NOV02/Umweltschutz/Wasser/Aktuelles/070324%20SHN%20Abwasserband%20Klettgau.pdf](http://www.umweltschutz-sh.ch/NEU_06NOV02/Umweltschutz/Wasser/Aktuelles/070324%20SHN%20Abwasserband%20Klettgau.pdf), 3.10.2008

#### 3.1.3.

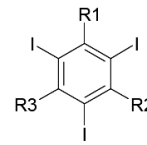
- Daten der ARA Bibertal-Hegau:  
Messung des Regierungspräsidiums Freiburg (4.2. - 14.2.2008), Abteilung Umwelt. Andreas Killer. Baden-Württemberg.
- Informationen über die Kläranlage Bibertal-Hegau:  
<http://www.ara-ramsen.ch/einzugsgebiet.htm>; 27.9. 2008, 16:58 h

#### 3.1.4.

- Messdaten des ALU.

#### 3.1.5.

- Abflussdaten des Rheines bei Neuhausen, Flurlingerbrücke 2007:  
<http://www.hydrodaten.admin.ch/d/228.htm>, 28.9. 2008
- Messdaten aus dem Bodensee:  
Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Betriebs-und Forschungslabor.  
8.11. / 6.9. / 8.3. / 11.1. 2007. Dipl.-Ing. (FH) Michael Petri, Fachingenieur für Analytik und Spektroskopie. Sipplingen.



### 3.2.

- Messdaten aus dem Bodensee:

Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Betriebs-und Forschungslabor. 8.11. / 6.9. / 8.3. / 11.1. 2007. Dipl.-Ing. (FH) Michael Petri, Fachingenieur für Analytik und Spektroskopie. Sipplingen.

### 3.3.

- Messdaten aus dem Rhein bei Basel-Birsfelden:

AWBR-Messprogramm (15.1.2002 - 11.12.2007). Michael Fleig. TZW Karlsruhe.

### 3.4.

- Messdaten von Zürich:

EAWAG und AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (25.10.-31.10.2004). Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattaales – Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2004. Zürich. Anhang A3/1 und A3/2.

- Informationen zur Kläranlage Zürich-Werdhölzli:

[http://www.stadtzuerich.ch/internet/erz/home/klaer.ParagraphContainerList.ParagraphContainer1.ParagraphList.0002.File.pdf/Brosch%fcrc\\_Klaerwerk.pdf](http://www.stadtzuerich.ch/internet/erz/home/klaer.ParagraphContainerList.ParagraphContainer1.ParagraphList.0002.File.pdf/Brosch%fcrc_Klaerwerk.pdf), 28.9. 2008, 15:30 h

### 3.5.

- Tabelle:

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie. Recklinghausen 2007. S. 165.

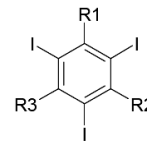
- Graphik:

Hans-Jürgen Brauch und Frank Sacher. Arzneimittelrückstände und andere Verunreinigungen – Quellen, Eintragspfade und Vorkommen im Rhein. DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW). Karlsruhe 2007. S. 16

### 3.6.

- Verkaufszahlen des Kantonsspitals Schaffhausen:

Dr. pharm. C. Hartmeier. Spitalapotheke des Kantonsspitals Schaffhausen. 1998-2007.



## 4. Diskussion / Interpretation

### 4.1. Schaffhausen

#### 4.1.1. Vergleich Messungen 2008 in der ARA Röti und der ARA Hallau mit den vorliegenden Verkaufszahlen von 2007

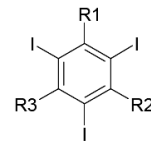
RKM	ARA Röti	ARA Hallau	Summe	Verkaufszahlen	
Iohexol	343.5	60.0	<b>403.0</b>	587.0	g/d
Ioxitalaminsäure	83.8	7.6	<b>91.4</b>	145.0	g/d
Iomeprol	5.0		<b>5.0</b>		g/d
Iodipamid	8.8	1.3	<b>10.1</b>		g/d
Iopamidol	11.0		<b>11.0</b>	4.2	g/d
Iopromid	7.4		<b>7.4</b>		g/d
Amidotrizoesäure	0.9		<b>0.9</b>		g/d

Wie in Kapitel 3.1.1. und 3.1.2. bereits zu erkennen, ist Iohexol im Rhein bei Schaffhausen am stärksten vertreten. Dies kann mit den Verkaufszahlen des Kantonsspitals Schaffhausen erklärt werden, denn zu den meist gebrauchten Mitteln im Kantonsspital gehört Accupaque, das aus Iohexol besteht.

Generell wären für die meistgebrauchten Röntgenkontrastmittel wie Iohexol und Ioxitalaminsäure gleiche Werte in der Summe der beiden Kläranlagen wie den Verkaufszahlen zu erwarten.

Die bestehenden Abweichungen können wie folgt erklärt werden:

1. Es gibt noch zahlreiche andere Kläranlagen in Dörfern, die auch zum Gebiet des Kantonsspitals Schaffhausen gehören. Auch aus dem angrenzenden Deutschland und vor allem aus dem Grenzgebiet des Kantons Zürich wird der Kantonsspital Schaffhausen besucht.
2. Die Verkaufszahlen des Kantonsspitals kommen aus der Spitalapotheke und diese kann nur aussagen, wie viele Produkte sie der Röntgenabteilung geliefert hat. Wie viel aber wirklich den Patienten appliziert worden sind, ist nicht festzustellen.
3. Die nachgewiesenen Röntgenkontrastmittel Konzentrationen unterliegen grossen Schwankungen. Sowohl in Ferienzeiten, wie auch an Wochenenden werden klar weniger Röntgenkontrastmittel Konzentrationen gemessen. In den zwei Probewochen wurden grosse Konzentrationsunterschiede gemessen, obwohl in beiden Wochen an denselben Wochentagen eine Probe genommen wurde. Um eine repräsentativere Aussage zu erhalten, müsste man über einen längeren Zeitraum regelmässig Proben nehmen.



4. Die Kläranlage Hallau kann von der Grösse etwa derjenigen von Stein am Rhein gleichgesetzt werden. Beide haben einen Einwohnergleichwert von etwa 20'000. Somit gilt der Wert von der ARA Hallau auch für Stein am Rhein:

RKM	ARA Röti 2008 (g/d)	ARA Hallau 2008 (g/d)	Korrektur ARA Stein (g/d)	Summe (g/d)	Verkaufs- zahlen 2007 (g/d)	korrigierte Wiederfin- dung (%)
Iohexol	343.5	60.0	60.0	463	587.0	78.8
Ioxitalaminsäure	83.8	7.6	7.6	99	144.0	68.8
Iopamidol	11.0			11	4.2	261.0
Iomeprol	5.0			5		

Mit diesem Faktor erhält man für Iohexol eine gute Wiederfindung von circa 78.8 % sowie für Ioxitalaminsäure eine akzeptable Wiederfindung von 68.8 %. Für Iopamidol liegt mit einer Wiederfindung von 261 % eine „Überbestimmung“ vor, welche sich nur durch ein Import-Phänomen aus der Nachbarschaft des Kantons erklären lässt.

Für das Stoff-Flussmodell liegen Zahlen für das in Schaffhausen weniger eingesetzte Iomeprol vor. Die Vorhersage mit dem Stoff-Flussmodell der EAWAG anhand der Substanz Iomeprol ergab 30 g/d und kann bestenfalls als eine grobe Abschätzung der aktuellen Situation gewertet werden.

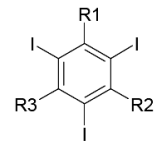
Erstaunlicherweise wurden am Ausfluss der ARA Röti auch Röntgenkontrastmittel gefunden, die das Kantonsspital Schaffhausen gar nicht führt.

Dies wären Iomeprol (Medikament: Iomeron), Iodipamid (Medikament: Biligrafin), Iopromid (Medikament: Ultravist) und Amidotrizoesäure (Medikament: Gastrografin).

Gründe, weshalb ein Kontrastmittel von einem Spital eingesetzt wird, sind unterschiedlich:

1. Optimale Wirkung
2. Preis
3. Service der Pharmafirmen: Dokumentation der Medikamente, Lieferbereitschaft, Stand der Forschung und ihre Erfahrung in einzelnen Gebieten

Iopromid und Amidotrizoesäure werden auch im Bodensee gefunden, (s. Kapitel 2.2) woraus geschlossen werden kann, dass diese schon mit dem Rhein in den Bodensee gelangen.



Das Medikament Iomeron, das Iomeprol enthält, ist in der Schweiz verbreitet und wird von einigen Spitälern (zum Beispiel: Kantonsspital St. Gallen<sup>9</sup>, Kantonsspital Graubünden<sup>10</sup>, Kantonsspital Basel<sup>11</sup>) verwendet.

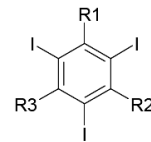
Ein Sonderfall ist das Iodipamid. Das Medikament Biligrafin, das Iodipamid enthält, wurde in der Schweiz nie vertrieben, auch in Deutschland wird Biligrafin nicht mehr verkauft. Weshalb Iodipamid im Ablauf der ARA Röti nachgewiesen wird, ist unklar.

Es ist anzumerken, dass Iodipamid sowohl im Bodensee (Kapitel 2.2.), wie auch im Rhein bei Basel (Kapitel 3.3.) nachgewiesen wird.

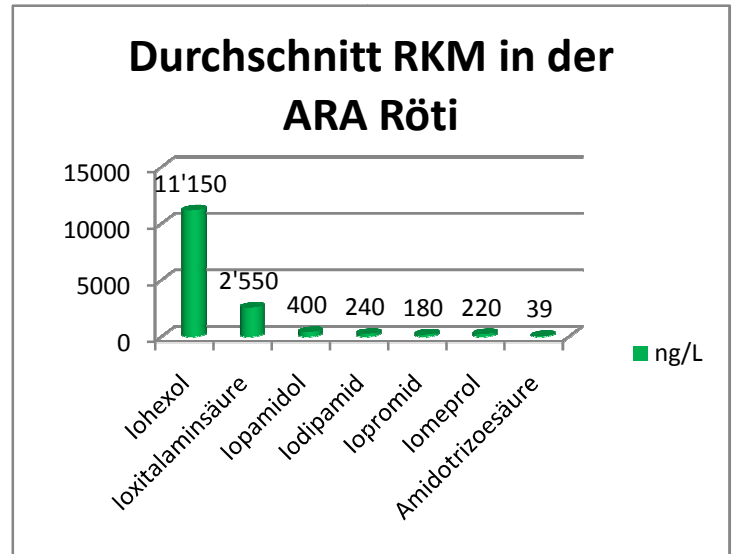
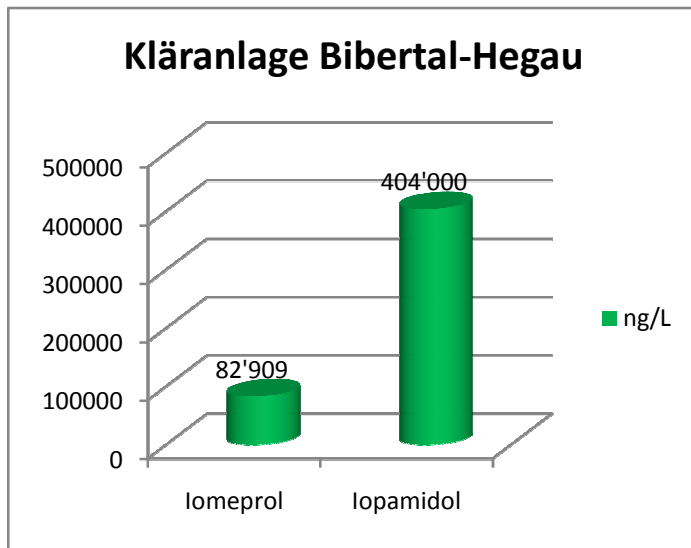
<sup>9</sup> Claudia Lehner, Kantonsspital St. Gallen

<sup>10</sup> Dr. pharm Evelyne Gyr Klaas, Co-Stv. Chefapothekerin; Kantonsspital Graubünden

<sup>11</sup> <http://www.spitalpharmazie-basel.ch/dienstleistungen/inhalt.php>



## 4.1.2. Kläranlage Bibertal-Hegau



Beim Vergleich der beiden Graphiken, werden sofort die speziellen Ergebnisse der Kläranlage Bibertal Hegau erkannt.

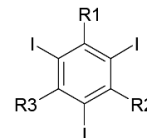
1. Im Gegensatz zur ARA Röti und auch der ARA Hallau werden im Abfluss der ARA Bibertal-Hegau nur zwei verschiedene Röntgenkontrastmittel gefunden.

Die Röntgenkontrastmittel lomeprol schwanken in der ARA Bibertal-Hegau zwischen 12'000 ng/L und 230'000 ng/L und lopamidol zwischen 28'000 und 650'000 ng/L. Im Vergleich, in der ARA Röti betragen die höchsten Werte von lomeprol und lopamidol 440 ng/L beziehungsweise 150 ng/L. Die Konzentrationen von RKM in der ARA Bibertal-Hegau sind im Mittel bis zu dreissig Mal höher als in der ARA Röti Neuhausen.

2. Iohexol, das sowohl in der ARA Hallau, als auch in der ARA Röti am stärksten nachgewiesen wird, ist in der ARA Bibertal-Hegau gar nicht gefunden worden.

Diese Messergebnisse der Röntgenkontrastmittel lomeprol und lopamidol mögen auf den ersten Blick erstaunen. Doch zum Einzugsgebiet der ARA Bibertal – Hegau gehört Singen, wo die Pharmafirma Nycomed ihren Sitz hat. In der Nycomed GmbH werden die Medikamente lomeprol und lopamidol, abgewogen, gemischt und in flüssiger Form abgefüllt. Dies führt zu Abfällen und Ausschüssen, welche dann die hohen Messergebnisse erklären.

Nycomed GmbH plant einige Änderungen für ihre Abwasserreinigung. Diese sind vom Regierungspräsidium Freiburg genehmigt worden. Ziele sind eine verbesserte Restentleerung der Anlage und die



Möglichkeit die Apparaturen mit einer geringeren Wassermenge vorzuspülen und diese mit in das Restmengenrecycling abzugeben oder als Abfall zu entsorgen.

Die grossen Trichter, durch die das Pulver der Röntgenkontrastmittel in die Gefässe fällt, werden nach jedem Durchgang abgeklopft, sodass hängengebliebenes Pulver im Abfall entsorgt werden kann. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass nicht verwendete Substanzen und Überreste in grosse Kunststoffbehälter abgefüllt und zurück an den Hersteller gesandt werden. Durch diese Massnahmen kommt weniger Kontrastmittelabfall in das Abwasser.

Seit dem Frühjahr wurden einige dieser Massnahmen bereits umgesetzt. Darum sollten heute Messungen tiefer ausfallen, als im Frühjahr. Nycomed GmbH will dies überprüfen, um den Erfolg der eingeführten Massnahmen zu bestätigen.

Dass in der ARA Bibertal-Hegau nur zwei unterschiedliche Röntgenkontrastmittel nachgewiesen werden, lässt sich mit der Bestimmungsgrenze erklären. Wahrscheinlich aus Kostengründen (Einsparung der Aufkonzentrierung) liegt die Bestimmungsgrenze der vorliegenden Messung des Technologiezentrums Wasser (TZW), Karlsruhe bei 10 µg/L. (Im Vergleich: Bei der Messung zur ARA Röti liegt die Bestimmungsgrenze bei 10 ng/L.) Bei dieser Messung ging es nicht darum, alle Röntgenkontrastmittel im Abfluss der ARA Bibertal-Hegau nachzuweisen, sondern den verursachten Abfluss der Firma Nycomed zu ermitteln.

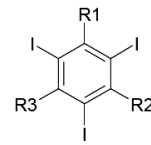
## 4.1.3. Röntgenkontrastmittel in Schaffhauser Trinkwasserfassungen im Vergleich zu Rohwasser im Bodensee bei Sipplingen

Probennahmen vom Mai 2007; durchgeführt vom ALU und analysiert vom TZW Karlsruhe.

	Amidotrizoesäure	Iopamidol	Ioxitalaminsäure	
Dörflingen (Rheinfiltrat)	5	n.n.	n.n.	ng/L
Schaffhausen (Lindli, Uferfiltrat)	14	14	2	ng/L
Neuhausen (Brunnen bei Rheinfallbecken)	14	7	2	ng/L
Schleitheim (Wutach, Oberwiesen)	8	n.n.	n.n.	ng/L
Hallau (Wutach, Wunderklingen)	21	n.n.	n.n.	ng/L
Bodensee bei Sipplingen (Mittelwerte 2007)	22	32	< 10	ng/L

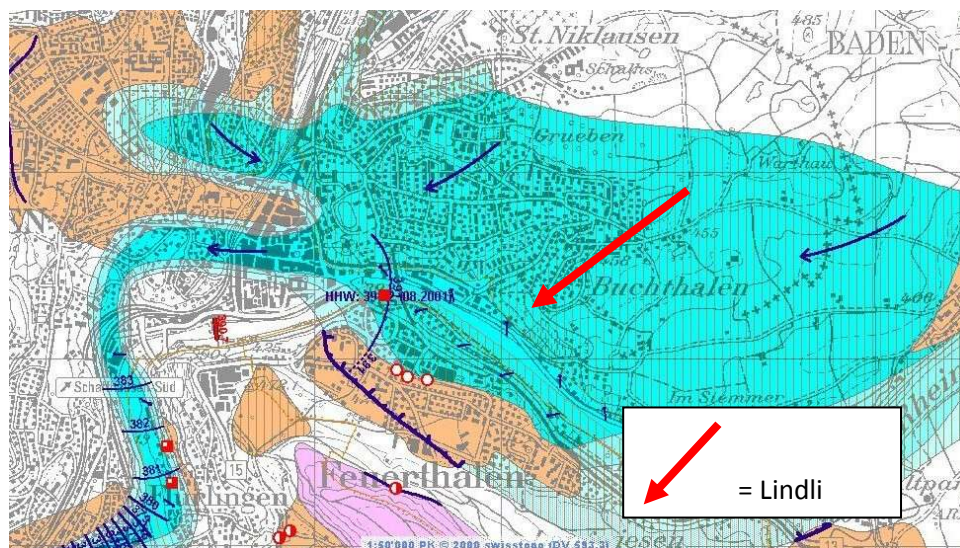
Die Ergebnisse zeigen, dass die Röntgenkontrastmittel ins Grundwasser gelangen und sich im Schaffhauser Trinkwasser wieder finden können.

Im Bodensee bei Sipplingen werden im Mittel für das Jahr 2007 22 ng/L Amidotrizoesäure und



0.3 ng/L Iopamidol nachgewiesen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Werte im Rheinwasser bei Dörflingen, Schaffhausen und Neuhausen gleich sind, da keine nennenswerte Einleitung auf dieser Rheinstrecke von Röntgenkontrastmitteln erfolgt. Es ist weiter davon auszugehen, dass die Werte höher ausfallen, als im Bodensee bei Sipplingen, da sich zwischen Sipplingen und Dörflingen zusätzliche Einleiter befinden. Zum Beispiel auch die ARA Bibertal-Hegau in Ramsen.

In den Trinkwasserfassungen, die Rohwasser aus dem Uferfiltrat des Rheines gewinnen, werden tiefere Amidotrizoesäure- und Iopamidol-Konzentrationen gefunden als im Bodensee bei Sipplingen. In der Publikation von Hans-Jürgen Brauch und Frank Sacher (s. 2.5.) wird dies mit anaeroben und aeroben Abbauvorgängen im Uferfiltrat des Flusses erklärt.



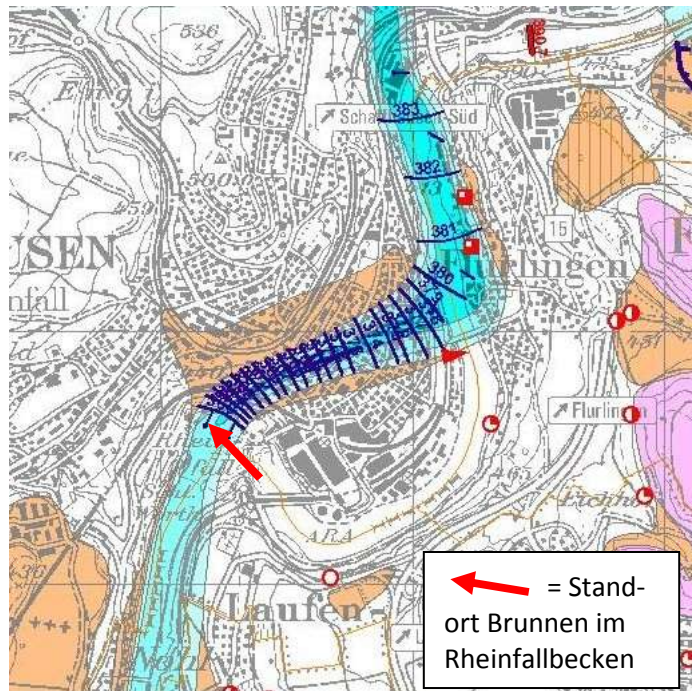
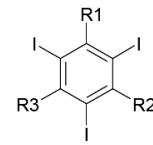
Grundwassersituation beim Lindli<sup>12</sup>

Die Unterschiede der einzelnen Konzentrationen der Trinkwasserfassungen können durch unterschiedlich lange Filtrationsstrecken, oder wie im Fall von Dörflingen durch den Zufluss von uferfiltrat-fremdem Grundwasser erklärt werden. (Persönliche Mitteilung: Dr. Ernst Herrmann, 15. September 2008)

Anschaulich sieht man die längere Filtrationsstrecke in Neuhausen, im Vergleich zum Lindli in Schaffhausen, welche zum Teil im Grundwasserstrom entlang des ehemaligen Rheinflusses verläuft.

<sup>12</sup> [www.gis.zh.ch](http://www.gis.zh.ch)



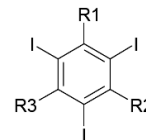


Grundwassersituation in Neuhausen am Rheinfall<sup>13</sup>

In Hallau wird das Trinkwasser aus dem Uferfiltrat der Wutach (bei Wunderlingen) gewonnen. Ebenso auch das Trinkwasser von Schleithelm, das bei Oberwiesen (Zoll Schleithelm) entnommen wird. Im Oberlauf der Wutach befinden sich grössere Kläranlagen, deren gereinigtes Abwasser bereits Röntgenkontrastmittel mitführen. Für die Wutach liegen keine Messwerte für RKM vor. Es ist bei der Wutach im Vergleich zum grossen Vorfluter Rhein aufgrund der geringeren Verdünnung mit höheren Konzentrationen an RKM zu rechnen.

Folglich gelangen auch Röntgenkontrastmittel aus dem Oberflächengewässer via Uferfiltrat in das Grundwasser, das auch als Trinkwasser genutzt werden kann.

<sup>13</sup> [www.gis.zh.ch](http://www.gis.zh.ch)



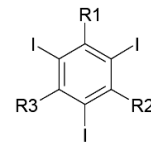
#### 4.2. Konzentrationsverlauf der Röntgenkontrastmittel vom Bodensee bis Basel

RKM	Bodensee (Messung 4x jährlich in 2007)	Basel (monatlich 2007)		Pseudo- frachten Schaff- hausen	Ver- kaufs- zahlen (2007)	Ablauf ARA Röti (April 2008)	Ablauf ARA Bibertal-Hegau (Mittelwerte 4.2.-13.2. 2008)	Basel (monatlich 2007)	
Iopamidol	32	118.5	ng/L	915	4.2	11	13'500	10'254	g/d
Iomeprol	29	118.0	ng/L	815		4	2'770	10'133	g/d
Iopromid	16	60.0	ng/L	458		7		5'658	g/d
Ioxithalamins.	<10	32.0	ng/L	286	144.0	83		3'024	g/d
Iohexol	12	29.0	ng/L	343	587.0	343		2'753	g/d
Amidotrizoes.	22	23.0	ng/L	629		1		2'151	g/d
Iotalaminsäure	<10	12.0	ng/L	286				1'213	g/d
Iodipamid	<10	12.0	ng/L	286		8		1'213	g/d
Iopansäure	<10	12.0	ng/L	286				1'213	g/d
Ioxaglinsäure	<10	12.0	ng/L	286				1'213	g/d

Vergleicht man das Endprodukt des Röntgenkontrastmittels Iohexol von Basel, wird klar, dass ein signifikanter Teil von Schaffhausen beigesteuert wird: Über 21 % des Endproduktes. Bei den übrigen Röntgenkontrastmitteln ist dieser Anteil nicht so hoch. Ioxitalaminsäure trägt noch etwa 4.8 % bei. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Eliminationsrate der Röntgenkontrastmittel im Rhein zu vernachlässigen ist. So ist zu erkennen, dass Schaffhausen, beziehungsweise der Kantonsspital Schaffhausen einen Teil zu den Röntgenkontrastmitteln im Rhein bei Basel beiträgt.

Hoch sind die Werte beim Abfluss der ARA Bibertal-Hegau. Diese kommen dadurch zustande, dass zum Einzugsgebiet der ARA Bibertal-Hegau die Firma Nycomed gehört. Die Mittelwerte von Iopamidol sind zwar höher als die täglichen Mittelwerte in Basel, doch dies lässt sich mit den Schwankungen der Messungen teilweise erklären. Der tiefste Wert der Messungen im Ablauf der Kläranlage Bibertal-Hegau beträgt 28 µg/L und der höchste 800 µg/L. Als Ursache für die Überbestimmung, im Vergleich zu den Frachten im Rhein bei Basel, können Produktions-Schwankungen bei der Firma Nycomed in den Jahren 2007 und 2008 angenommen werden. Zudem entsprechen die Messungen bei Basel einem Mittelwert des ganzen Jahres 2007. Um völlig korrekte Angaben zu erhalten, müssten die Messungen etwa zur gleichen Zeit genommen werden, mit Einrechnung der Fließzeit.

Doch anhand dieser Tabelle ist eindeutig zu erkennen, dass der grössere Teil der Verunreinigung des Rheines bei Basel durch Röntgenkontrastmittel Abfälle der Industrie verursacht wird. Nur der kleinere Teil stammt von Spitälern und Praxen. Wenn man also die Röntgenkontrastmittel im Rhein verringern will, sollte man den Hebel primär in der Industrie ansetzen und dort Veränderungen und Verbesserungen der Abwasserpolitik durchsetzen, bevor kostenaufwändige Verfahren im Spitalbereich eingeführt werden.

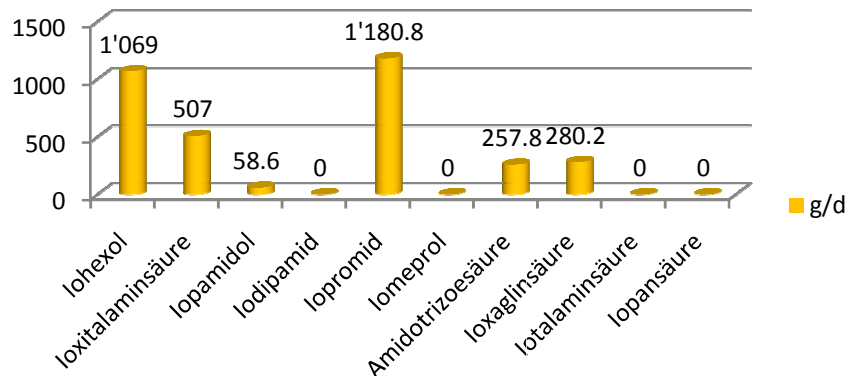


### 4.3. Zürich

RKM	g/d
lohexol	1'069.0
loxitalaminsäure	507.0
lopamidol	58.6
Iodipamid	n.n.
Iopromid	1'180.8
Iomeprol	n.n.
Amidotrizoesäure	257.8
loxaglinsäure	280.2
Iotalaminsäure	n.n.
Iopansäure	n.n.

n.n. = nicht nachzuweisen

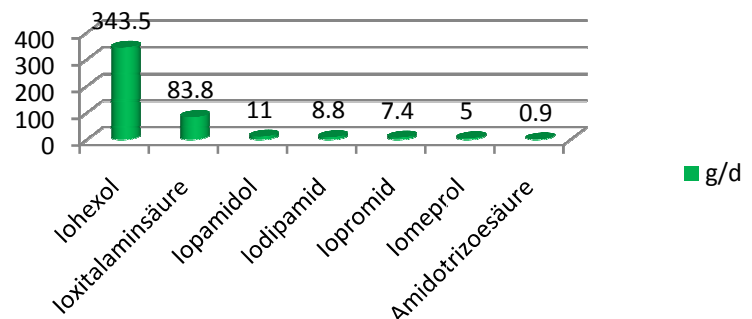
### Mittlere Frachten der RKM im Ablauf der ARA Werdhölzli



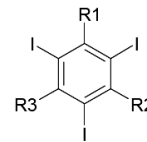
0 = nicht nachzuweisen

Mittelwert der Pseudo-frachten der RKM im Rhein	
RKM	g/d
lohexol	343.5
loxitalaminsäure	83.8
lopamidol	11.0
Iodipamid	8.8
Iopromid	7.4
Iomeprol	5.0
Amidotrizoesäure	0.9

### Mittlere Frachten der RKM im Ablauf der ARA Röti



Die Röntgenkontrastmittel werden im Verhältnis zu den Einwohnerzahlen sowohl von Schaffhausen wie auch von Zürich etwa in den ähnlichen Mengen gebraucht. Ganz klar verschieden sind aber die eingesetzten Präparate. Daraus lässt sich schliessen, dass jeder Spital seine Medikamente nach eigenen Kriterien wählt. Wie bereits in Kapitel 3.1. erläutert hängt dies von verschiedenen Faktoren ab. Da die Grössenordnung der verwendeten Röntgenkontrastmittel im ähnlichen Rahmen liegt wie in Schaffhausen, kann davon ausgegangen werden, dass sich kein Betrieb zur Herstellung von Kontrastmittel in der Nähe befindet.



## Quellen zum Kapitel 4. Diskussion / Interpretation

### 4.1.1.

- Daten der ARA Röti:  
Messung des ALU (15.4. – 19.4. und 22.4. - 2.4. 2008)
- Daten der ARA Hallau:  
Messung des ALU (15.4. - 19.4. 2008)
- Verkaufszahlen des Kantonsspitals Schaffhausen:  
Dr. pharm. C. Hartmeier. Spitalapotheke des Kantonsspitals Schaffhausen. 1998-2007.

### 4.1.2.

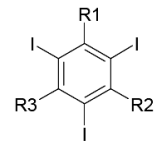
- Daten der ARA Bibertal-Hegau:  
Messung des Regierungspräsidiums Freiburg (4.2. - 14.2.2008), Abteilung Umwelt. Andreas Killer. Baden-Württemberg.

### 4.1.3.

- Daten zum Grundwasser:  
ALU – Untersuchungsbericht Nr. I2131, Nr. I2065, Nr. I2083.

### 4.2.

- Messdaten des Bodensees:  
Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Betriebs-und Forschungslabor.  
8.11. / 6.9. / 8.3. / 11.1. 2007. Dipl.-Ing. (FH) Michael Petri, Fachingenieur für Analytik und Spektroskopie. Sipplingen.
- Messdaten aus dem Rhein bei Basel-Birsfelden:  
AWBR-Messprogramm (15.1.2002 - 11.12.2007). Michael Fleig. TZW Karlsruhe.
- Abflussdaten des Rheines – Neuhausen, Flurlingerbrücke 2007:  
<http://www.hydrodaten.admin.ch/d/228.htm>, 28.9. 2008
- Verkaufszahlen des Kantonsspitals Schaffhausen:  
Dr. pharm. C. Hartmeier. Spitalapotheke des Kantonsspitals Schaffhausen. 1998-2007.
- Daten der ARA Röti:  
Messung des ALU (15.4. - 19.4. 2008 und 22.4. – 26.4. 2008)
- Daten der ARA Bibertal-Hegau:  
Messung des Regierungspräsidiums Freiburg (4.2. - 14.2.2008), Abteilung Umwelt. Andreas Killer. Baden-Württemberg.



### 4.3.

- Messdaten von Zürich:

EAWAG und AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (25.10.-31.10.2004). Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattaales – Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2004. Zürich. Anhang A3/1 und A3/2.

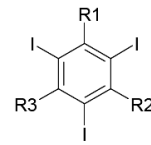
- Daten der ARA Röti:

Messung des ALU (15.4. - 19.4. 2008 und 22.4. – 26.4. 2008)

- Mittlere Abflusswerte der ARA Röti:

15.04.-19.04.08:        22'563.6 m<sup>3</sup>/d

22.04.-26.04.08:        51'756 m<sup>3</sup>/d

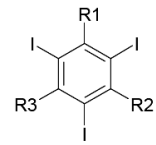


## 5. Fazit

Aus der vorliegenden Arbeit kann folgendes Fazit gezogen werden.

- Es besteht eine erstaunlich gute Korrelation zwischen den Verkaufszahlen und der Wiederingangabe mit den berechneten ARA Frachten.
- Das Nationale Stoff-Flussmodell gibt einen ersten Anhaltspunkt, ist jedoch (noch) nicht auf Röntgenkontrastmittel anzuwenden. Dazu müssen zuerst alle Verkaufszahlen der verschiedenen Kontrastmittel ins Programm gefügt werden.
- Es bestehen lokale Unterschiede bei den Wirksubstanzen, das heisst es gibt keine Homogenität der Produktwahl in den Spitälern.
- In allen Uferfiltraten konnten Röntgenkontrastmittel in Konzentrationen gefunden werden, die sich mit Konzentrationen im Oberflächengewässer sowie mit den gängigen Abbaumechanismen im Uferfiltrat erklären lassen.
- Der Beitrag der Röntgenkontrastmittel vom Kantonsspital Schaffhausen ist im Rhein bei Basel signifikant nachweisbar. Hoch sind vor allem die Werte, die von der ARA Bibertal-Hegau und somit von der Firma Nycomed stammen. Die Beiträge von Spitälern und Praxen an Röntgenkontrastmitteln sind weit unter den Konzentrationen, die im Abwasser der Industrie gefunden werden. In Anbetracht dieser Zahlen ist es wichtig, dass in der Industrie die Abwasserreinigung verbessert wird. Folglich ist es sinnvoller und effizienter, zuerst in der Industrie Verbesserungsmassnahmen zu ergreifen, als in Spitälern teure Entsorgungseinrichtungen zu installieren.
- Durch die eingeschränkte Abbaubarkeit der Röntgenkontrastmittel werden diese Substanzen in der Umwelt kumulieren. Es ist wichtig, dies weiterhin zu beobachten, da die Auswirkungen dieser Kumulation unbekannt sind und Iohexol wird immerhin der Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) zugeordnet.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> <http://www.gewaesser-umwelt-schutz.de/g-u-s/wassergef.pdf>, 17.11.2008



## Anhang

### Schaffhausen

ARA Röti:

Messung des ALU (15.4. - 19.4.).

Parameter	bei °C	Ergebnis	Einheit	BG	GW	Verfahren
<i>Röntgenkontrastmittel</i>						
Amidotrizoesäure		78	rg/L	50		Labormethode
Iodipamid		250	rg/L	50		Labormethode
Iohexol		16000	rg/L	100		Labormethode
Iomeprol		440	rg/L	50		Labormethode
Iopamidol		150	rg/L	50		Labormethode
Iopansäure		< BG	rg/L	50		Labormethode
Iopromid		130	rg/L	50		Labormethode
Iotalaminsäure		< BG	rg/L	50		Labormethode
Ioxaglinsäure		< BG	rg/L	50		Labormethode
Ioxithalaminsäure		3300	rg/L	50		Labormethode

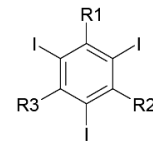
BG = Bestimmungsgrenze; GW = Grenzwert nach TrinkwV (2001)

ARA Röti

Messung des ALU (22.4. – 26.4. 2008).

Parameter	bei °C	Ergebnis	Einheit	BG	GW	Verfahren
<i>Röntgenkontrastmittel</i>						
Amidotrizoesäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iodipamid		230	ng/L	50		Labormethode
Iohexol		6300	ng/L	50		Labormethode
Iomeprol		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iopamidol		360	ng/L	50		Labormethode
Iopansäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iopromid		230	ng/L	50		Labormethode
Iotalaminsäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Ioxaglinsäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Ioxithalaminsäure		1800	ng/L	50		Labormethode

BG = Bestimmungsgrenze; GW = Grenzwert nach TrinkwV (2001)



ARA Hallau

Messung des ALU (15.4. - 19.4. 2008)

Parameter	bei °C	Ergebnis	Einheit	BG	GW	Verfahren
<i>Röntgenkontrastmittel</i>						
Amidotrizoesäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iodipamid		150	ng/L	50		Labormethode
Iohexol		7000	ng/L	50		Labormethode
Iomeprol		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iopamidol		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iopansäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iopromid		< BG	ng/L	50		Labormethode
Iotalaminsäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Ioxaglinsäure		< BG	ng/L	50		Labormethode
Ioxithalaminsäure		890	ng/L	50		Labormethode

BG = Bestimmungsgrenze; GW = Grenzwert nach TrinkwV (2001)

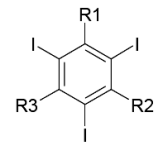
Wassermenge ARA Röti Neuhausen

15.04.08	34'132 m <sup>3</sup> /d	22.04.08	95'020 m <sup>3</sup> /d
16.04.08	33'720 m <sup>3</sup> /d	23.04.08	65'720 m <sup>3</sup> /d
17.04.08	27'188 m <sup>3</sup> /d	24.04.08	37'180 m <sup>3</sup> /d
18.04.08	24'752 m <sup>3</sup> /d	25.04.08	32'260 m <sup>3</sup> /d
19.04.08	<u>23'426 m<sup>3</sup>/d</u>	26.04.08	<u>28'600 m<sup>3</sup>/d</u>
Durchschnitt	22'563.6 m <sup>3</sup> /d		51'756 m <sup>3</sup> /d

Wassermenge ARA Hallau

15.04.08	10'870 m <sup>3</sup> /d
16.04.08	9'800 m <sup>3</sup> /d
17.04.08	7'900 m <sup>3</sup> /d
18.04.08	7'000 m <sup>3</sup> /d
19.04.08	<u>7'200 m<sup>3</sup>/d</u>
Durchschnitt	8'554 m <sup>3</sup> /d





ARA Bibertal-Hegau

Messung des Regierungspräsidiums Freiburg (4.2. - 14.2.2008), Abteilung Umwelt. Andreas Killer.

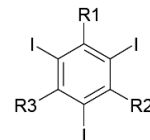
Baden-Württemberg.

## Proben

ZEIT *	ABLAUF		lomeprol	lopamidol	Summe	Tagesfracht
	<i>m<sup>3</sup>/d</i>		<i>in µg/L</i>	<i>in µg/L</i>	<i>in µg/L</i>	<b>kg</b>
<b>v. 4.2 auf 5.2.08</b>	30'504		12	28	40	<b>1.2</b>
<b>v. 5.2 auf 6.2.08</b>	29'454		35	350	385	<b>11.3</b>
<b>1) v. 6.2 auf 7.2.08</b>	42'030		38	720	758	<b>31.9</b>
<b>v. 7.2 auf 8.2.08</b>	31'125		49	650	699	<b>21.8</b>
<b>v. 8.2 auf 9.2.08</b>	28'975		200	800	1000	<b>29.0</b>
<b>v. 9.2 auf 10.2.08</b>	28'614		140	550	690	<b>19.7</b>
<b>v. 10.2 auf 11.2.08</b>	27'227		77	120	197	<b>5.4</b>
<b>v. 11.2 auf 12.2.08</b>	29'632		33	46	79	<b>2.3</b>
<b>v. 12.2 auf 13.2.08</b>	28'495		98	640	738	<b>21.0</b>
<b>v. 13.2 auf 14.2.08</b>	27'727		230	540	770	<b>21.3</b>
<b>Mittelwerte:</b>	30'378		91	444	536	<b>16.5</b>
* 7:00 bis 7:00						

1) Einstau in Regenklärbecken, kein Abschlag wurde nachfolgend über SW-Kanalisation abgearbeitet

andere Röntgenkontrastmittel < Bestimmungsgrenze von 10 µg/l



## Proben des Grundwassers bei Schaffhausen

ALU – Untersuchungsbericht Nr. I2131, Nr. I2065, Nr. I2083.

Hallau PW Wunderklingen	Amidotrizoesäure	0.021 µg/L
Dörflingen	Amidotrizoesäure	0.005 µg/L
Schleitheim	Amidotrizoesäure	0.008 µg/L
Schaffhausen	Amidotrizoesäure	0.014 µg/L
	Iopamidol	0.014 µg/L
	Ioxitalaminsäure	0.002 µg/L
Neuhausen PW Brunnen 1	Amidotrizoesäure	0.014 µg/L
	Iopamidol	0.007 µg/L
	Ioxitalaminsäure	0.002 µg/L

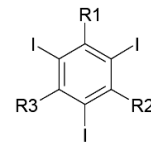
## Proben des Bodensees

Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Betriebs- und Forschungslabor.

8.11. / 6.9. / 8.3. / 11.1. 2007. Dipl.-Ing. (FH) Michael Petri, Fachingenieur für Analytik und Spektroskopie. Sipplingen.

Rohwasser 60m Überlinger See.

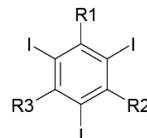
Probenahmedatum	08.11.2007	06.09.2007	08.03.2007	11.01.2007
Röntgenkontrastmittel	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
Amidotrizoesäure	< 10	24	26	20
Iohexol	< 10	22	11	13
Iopremol	28	22	47	17
Iopamidol	28	36	35	29
Iopromid	< 10	33	16	16
Iodipamid	< 10	< 10	< 10	< 10
Iopansäure	< 10	< 10	< 10	< 10
Iotalaminsäure	< 10	< 10	< 10	< 10
Ioxaglinsäure	<10	<10	<10	<10
Ioxitalaminsäure	<10	<10	<10	<10



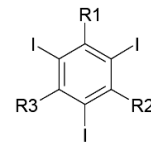
## Proben aus dem Rhein bei Basel-Birsfelden

AWBR-Messprogramm (15.1.2002 - 11.12.2007). Michael Fleig. TZW Karlsruhe.

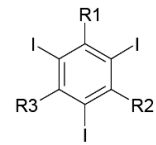
Jahr	DATUM	Amidotrizoesäure ng/L	Iodipamid ng/L	Iohexol ng/L	Iomeprol ng/L	Iopamidol ng/L	Iopansäure ng/L	Iopromid ng/L	Iotalaminsäure ng/L	Ioxagilinsäure ng/L	Ioxitalaminsäure ng/L
2002	15.01.2002	24	<10	13	61	170	<10	85	17	<10	29
2002	15.02.2002	25	<10	15	100	120	<10	100	25	<10	40
2002	12.03.2002	85	<10	<10	190	290	<10	92	57	<10	26
2002	11.04.2002	45	<10	32	130	170	<10	110	22	<10	58
2002	06.05.2002	17	<10	<10	90	100	<10	49	10	<10	14
2002	05.06.2002	13	<10	<10	34	590	<10	51	<10	<10	<10
2002	30.07.2002	22	<10	<10	21	130	<10	30	<10	<10	<10
2002	14.08.2002	18	<10	<10	28	80	<10	37	<10	<10	23
2002	29.08.2002	31	<10	<10	51	180	<10	51	<10	<10	20
2002	23.09.2002	29	<10	12	15	260	<10	42	<10	<10	13
2002	23.10.2002	20	<10	13	32	110	<10	52	<10	<10	16
2002	22.11.2002	24	<10	19	41	120	<10	66	<10	<10	24
2002	17.12.2002	27	<10	<10	45	62	<10	46	<10	<10	14
		29.2308	10	13	64.5	183	10	62.4	16	10	22.5
2003	15.01.2003	19	<10	<10	<10	44	<10	40	<10	<10	11
2003	10.02.2003	30	<10	23	61	200	<10	79	<10	<10	22
2003	13.03.2003	43	<10	24	90	120	<10	87	<10	15	32
2003	11.04.2003	65	<10	49	59	400	<10	110	<10	<10	45
2003	05.06.2003	22	<10	30	52	180	<10	93	<10	<10	20
2003	30.06.2003	20	<10	15	50	190	<10	44	<10	<10	13



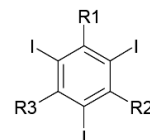
Jahr	Datum	Amidotrizoesäure ng/L	Iodipamid ng/L	Iohexol ng/L	Iomeprol ng/L	Iopamidol ng/L	Iopansäure ng/L	Iopromid ng/L	Iotalaminsäure ng/L	Ioxaglinsäure ng/L	Ioxitalaminsäure ng/L
2003	30.07.2003	10	<10	<10	10	60	<10	15	<10	<10	13
2003	29.08.2003	18	<10	24	61	95	<10	49	<10	<10	29
2003	23.09.2003	31	<10	39	210	450	<10	59	<10	<10	47
2003	23.10.2003	27	<10	45	61	210	<10	69	<10	<10	42
2003	17.11.2003	36	<10	50	110	170	<10	110	<10	<10	50
2003	17.12.2003	50	<10	51	75	350	<10	110	<10	<10	50
		30.9167	10	30	71	206	10	72.1	10	10	31.2
2004	15.01.2004	10	<10	12	30	79	<10	46	<10	<10	<10
2004	10.02.2004	24	<10	19	15	120	<10	84	<10	<10	<10
2004	11.03.2004	24	<10	23	37	79	<10	59	<10	<10	28
2004	05.04.2004	27	<10	38	170	200	<10	74	<10	<10	35
2004	05.05.2004	22	<10	17	61	110	<10	74	<10	<10	28
2004	02.06.2004	15	<10	16	20	55	<10	43	<10	<10	14
2004	29.07.2004	17	<10	14	<10	100	<10	50	<10	<10	15
2004	23.08.2004	14	<10	16	35	63	<10	52	<10	<10	19
2004	22.09.2004	15	<10	12	<10	100	<10	30	<10	<10	15
2004	22.10.2004	10	<10	28	22	130	<10	83	<10	<10	23
2004	15.11.2004	33	<10	61	100	150	<10	140	<10	<10	50
2004	16.12.2004	25	<10	38	180	160	<10	83	<10	10	34
		19.6667	10	24.5	57.5	112	10	68.2	10	10	23
2005	10.01.2005	22	<10	86	43	70	<10	170	<10	<10	56
2005	09.02.2005	25	<10	51	53	59	<10	99	<10	<10	39
2005	11.03.2005	40	<10	58	63	160	<10	140	<10	<10	58
2005	04.04.2005	24	<10	48	140	200	<10	120	<10	<10	38



Jahr	Datum	Amidotrizoesäure ng/L	Iodipamid ng/L	Iohexol ng/L	Iomeprol ng/L	Iopamidol ng/L	Iopansäure ng/L	Iopromid ng/L	Iotalaminsäure ng/L	Ioxaglinsäure ng/L	Ioxitalaminsäure ng/L
2005	03.05.2005	17	<10	16	31	72	<10	35	<10	<10	14
2005	30.05.2005	14	<10	20	23	110	<10	60	<10	<10	28
2005	29.06.2005	<10	<10	16	35	58	<10	44	<10	<10	19
2005	29.07.2005	11	<10	<10	11	45	<10	54	<10	<10	23
2005	23.08.2005	<10	<10	<10	<10	13	<10	23	<10	<10	<10
2005	22.09.2005	11	<10	<10	33	46	<10	47	<10	<10	24
2005	17.10.2005	33	<10	<10	73	450	<10	88	<10	<10	40
2005	15.11.2005	42	<10	55	320	360	<10	120	<10	<10	54
2005	16.12.2005	16	<10	32	49	87	<10	75	<10	<10	36
		21	10	32	68	133	10	82.7	10	10	33
2006	09.02.2006	40	<10	150	650	400	<10	180	<10	<10	72
2006	07.03.2006	18	<10	47	110	120	<10	73	<10	<10	34
2006	05.04.2006	15	<10	49	73	48	<10	76	<10	<10	25
2006	05.05.2006	16	<10	47	79	180	<10	98	<10	<10	39
2006	30.05.2006	33	18	13	18	54	<10	26	<10	<10	17
2006	29.06.2006	66	<10	57	28	460	<10	86	<10	<10	32
2006	24.07.2006	15	<10	27	110	150	<10	31	<10	<10	30
2006	23.08.2006	13	<10	22	51	40	<10	29	<10	<10	29
2006	22.09.2006	<10	<10	22	84	65	<10	34	<10	<10	18
2006	17.10.2006	<10	<10	27	41	99	<10	29	<10	<10	20
2006	15.11.2006	25	<10	41	190	130	<10	43	<10	<10	47
2006	11.12.2006	<10	<10	31	96	86	<10	27	<10	<10	22
		22.5	10.5	44.417	128	153	10	61	10	10	32.1
2007	09.01.2007	17	<10	35	73	41	<10	54	<10	<10	35



Jahr	Datum	Amidotrizoesäure ng/L	Iodipamid ng/L	Iohexol ng/L	Iomeprol ng/L	Iopamidol ng/L	Iopansäure ng/L	Iopromid ng/L	Iotalaminsäure ng/L	Ioxaglinsäure ng/L	Ioxitalaminsäure ng/L
2007	09.02.2007	40	<10	41	510	380	<10	110	<10	<10	70
2007	06.03.2007	<20	<20	<20	86	66	<20	20	<20	<20	30
2007	04.04.2007	<20	<20	<20	58	76	<20	34	<20	<20	28
2007	27.04.2007	32	<20	38	200	250	<20	86	<20	<20	52
2007	30.05.2007	<10	<10	20	<10	40	<10	30	<10	<10	<10
2007	29.06.2007	<10	<10	30	200	190	<10	85	<10	<10	24
2007	24.07.2007	14	<10	<10	25	30	<10	53	<10	<10	18
2007	23.08.2007	14	<10	24	39	70	<10	74	<10	<10	28
2007	17.09.2007	<10	<10	53	170	210	<10	64	<10	<10	26
2007	17.10.2007	13	<10	<10	31	70	<10	41	<10	<10	18
2007	15.11.2007	79	<10	38	76	68	<10	85	<10	<10	43
2007	11.12.2007	32	<10	43	64	51	<10	44	<10	<10	40
		23	12	29	118	119	12	60	12	12	32



## Messdaten von Zürich

EAWAG und AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (25.10.-31.10.2004). Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattaales – Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2004. Zürich.

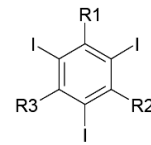
Anhang A3/1 und A3/2.

**Tabelle A3: Konzentrationen und Frachten der Röntgenkontrastmittel.**

Zum Teil wurden mehrere Tagessammelproben zu einer Mischprobe gemischt (m).

Woche 1: 25.10.04 – 31.10.04										
	Ablauf ARA Werdhölzli									
	Mo		Di		Mi		Do+Fr		Sa+So <sup>m</sup>	
	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag
lopamidol	150	29	250	85	120	43	320	64	440	72
lopromid	1500	292	5700	1948	5200	1884	6200	1236	3100	508
lomeprol	nn		nn		nn		nn		nn	
Amidotrizoesäure	820	160	1200	410	780	283	1200	239	1200	197
Iodipamid	nn		nn		nn		nn		nn	
Iohexol	2400	468	4600	1572	3800	1377	6300	1256	4100	672
Iopansäure	nn		nn		nn		nn		nn	
Iotalaminsäure	nn		nn		nn		nn		nn	
Ioxaglinsäure	490	96	640	219	240	87	420	84	760	125
Ioxitalaminsäure	1500	292	2400	820	1500	544	2600	518	2200	361

Woche 1: 25.10.04 - 31.10.04														
	Limmat Höggersteg				Limmat EKZ Dietikon									
	Mo-Mi <sup>m</sup>		Sa+So <sup>m</sup>		Mo		Di		Mi		Do+Fr <sup>m</sup>		Sa+So <sup>m</sup>	
	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag	ng/l	g/Tag
lopamidol	nn		nn		nn		19	105	11	86	nn		nn	
lopromid	22	138	17	101	49	266	460	2532	300	2354	200	1471	120	716
lomeprol	nn		nn		nn		nn		nn		nn		nn	
Amidotrizoesäure	nn		nn		20	109	53	292	29	228	21	154	22	131
Iodipamid	nn		nn		nn		nn		nn		nn		nn	
Iohexol	nn		nn		62	337	240	1321	160	1255	150	1103	93	555
Iopansäure	nn		nn		nn		nn		nn		nn		nn	
Iotalaminsäure	nn		nn		nn		nn		nn		nn		nn	
Ioxaglinsäure	nn		nn		16	87	36	198	nn		11	81	17	101
Ioxitalaminsäure	13	81	nn		41	223	100	550	58	455	59	434	46	275

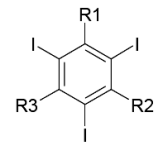


# Verkaufszahlen der Röntgenkontrastmittel im Kantonsspital Schaffhausen

Dr. pharm. Cora Hartmeier. Spitalapotheke Kantonsspital Schaffhausen. 1998-2007.

RKM	ml	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
lohexol	100	-	-	-	-	-	160'000	141'000	92'000	69'000	87'000
lohexol	500	-	-	-	-	-	-	60'000	156'000	177'000	225'000
lohexol	50	-	-	-	-	-	11'500	36'000	22'300	28'000	19'200
lohexol	50	-	3'950	4'800	2'250	2'250	2'750	700	-	-	-
lohexol	100	207'500	170'000	185'500	198'000	216'000	127'000	-	-	-	-
lohexol	50	38'500	27'250	30'500	32'500	28'500	17'000	-	-	-	-
loxitalaminsäure	20	5'600	5'800	7'600	7'000	5'400	6'000	6'000	6'200	6'800	1'120
loxitalaminsäure	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7'260
loxitalaminsäure	100	29'900	42'700	36'800	55'800	59'000	78'900	82'600	92'500	90'600	95'600
loxitalaminsäure	20	-	500	-	280	40	500	-	500	-	500
lopamidol	10	100	-	-	450	200	-	-	-	-	-
lopamidol	10	2'400	1'250	2'200	1'200	1'700	2'600	1'850	2'550	2'400	2'500
Megluminotroxat	100	200	100	200	400	200	-	-	-	-	-
loxaglinsäure	10	1'200	2'000	2'600	2'600	3'800	1'690	3'700	3'500	3'000	2'750
lotrolan	10	50	60	200	-	490	1'230	1'500	1'390	-	1'790
lotrolan	10	40	90	50	200	170	80	130	230	80	60





## Berechnung der Verkaufszahlen der einzelnen Präparate in den Tagesverbrauch

### Iohexol

Röntgenkontrastmittel: Iohexol  
Medikament: Accupaque

1 ml Accupaque => 647 mg/ml Iohexol<sup>15</sup>

2007 sind verkauft worden:

Accupaque 331'200 ml

$$331'200 \text{ ml} * 647 \text{ mg/ml} = 214'286'400 \text{ mg}$$

$$214'286'400 / 365 \text{ d} = 587'086 \text{ mg/d}$$

**587 g/d Iohexol**

### Iopamidol

Röntgenkontrastmittel: Iopamidol  
Medikament: Iopamiro 300

1 ml Iopamiro 300 => 612.4 mg/ml Iopamidol<sup>16</sup>

2007 sind verkauft worden:

Iopamiro 300 2'500 ml

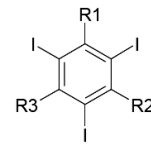
$$2'500 \text{ ml} * 612.4 \text{ mg/ml} = 1'531'000 \text{ mg}$$

$$1'531'000 \text{ mg} / 365 \text{ d} = 4195 \text{ mg/d}$$

**4.2 g/d Iopamidol**

<sup>15</sup> <http://www.kompendium.ch/MonographieTxt.aspx?lang=de&MonType=fi>, 1.07.08

<sup>16</sup> <http://www.kompendium.ch/MonographieTxt.aspx?lang=de&MonType=fi>, 1.07.08



## loxitalaminsäure

Röntgenkontrastmittel: Medikament:  
 loxitalaminsäure Telebrix Gastro  
 Telebrix 30  
 Telebrix Hystero

### Telebrix Gastro<sup>17</sup>

Megluminioxitalamat = 660.3  
 loxitalaminsäure = 643.94  
 Meglumin = 195.22

$$643.94 = x \% \text{ von } 839.16$$

$$x = 76.74 \%$$

$$76.74 \% \text{ von } 660.3 \text{ mg/ml} = 506.71 \text{ mg/ml loxitalaminsäure}$$

2007 sind verkauft worden:

loxitalaminsäure 103'980 ml

$$103'980 \text{ ml} * 506.71 \text{ mg/ml} = 52'687'705.8 \text{ mg}$$

$$52'687'705.8 \text{ mg} / 365 \text{ d} = \mathbf{144'349.9 \text{ mg/d}}$$

### Telebrix Hystero<sup>18</sup>

Megluminioxitalamat = 550.5  
 loxitalaminsäure = 643.94  
 Meglumin = 195.22

$$76.74 \% \text{ von } 550.5 \text{ mg/ml} = 422.45 \text{ mg/ml loxitalaminsäure}$$

2007 sind verkauft worden: 500 ml

loxitalaminsäure

$$\text{Telebrix Hystero} \quad 500 \text{ ml} * 422.45 \text{ mg/ml} = 211'225 \text{ mg}$$

$$211'225 \text{ mg} / 365 = 578.7 \text{ mg/d}$$

$$+ \underline{144'349 \text{ mg/d}}$$

$$\mathbf{144'928.6 \text{ mg/d}}$$

$$\mathbf{\underline{\underline{145 \text{ g/d loxitalaminsäure}}}}$$

<sup>17</sup> <http://www.kompendium.ch/MonographieTxt.aspx?lang=de&MonType=fi>, 1.07.08

<sup>18</sup> <http://www.kompendium.ch/MonographieTxt.aspx?lang=de&MonType=fi>, 1.07.08