

3

SONDERUNTERSUCHUNGEN ZUM VOR- KOMMEN ORGANISCHER SPURENSTOFFE IM UNTERLAUF DES MAINS

Michael Fleig und Heinz-Jürgen Brauch

DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)

Karlsruher Strasse 84

76139 Karlsruhe

Angelika Fink und Bernhard Post

Hessenwasser GmbH & Co. KG

Taunusstraße 100

64521 Groß-Gerau

3.1 Einleitung

Der Main ist ein Nebenfluss des Rheins und ein wichtiger indirekter Rohwasserlieferant für die Trinkwassergewinnung. Daher ist die Wasserbeschaffenheit des Mains für die ARW von Bedeutung und wird seit Jahren an der Messstelle Frankfurt-Niederrad untersucht. Im August 2015 wurde eine Untersuchungskampagne im Längsprofil ab Nürnberg bis zur Mündung durchgeführt. Dabei wurde auf viele seitens der Wasserversorger als bedeutsam eingestufte Verbindungen hin untersucht. Die Ergebnisse sind im Jahresbericht 2015 der ARW dokumentiert.

Im März 2017 erfolgte eine erneute Untersuchung am Untermain ab Hanau (km 65,5) bis zur Mündung (Bild 3.1). Durch Hessenwasser GmbH & Co. KG gelegentlich beprobte Messstellen wurden einbezogen und der Parameterumfang gegenüber dem vorangegangenen Längsprofil modifiziert. Aktuelle Spurenstoffe wie Trifluoracetat (TFA) und 1,4-Dioxan kamen hinzu. Die Untersuchungen erfolgten durch das TZW: Technologiezentrum Wasser und das Zentrallabor der Hessenwasser GmbH & Co. KG.

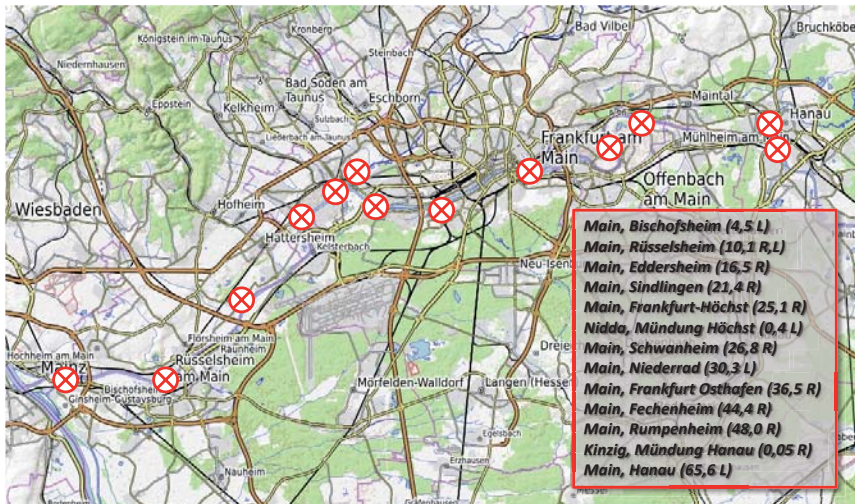


Bild 3.1: Untersuchungsstellen am Untermain und den Nebengewässern (28.03.2017)

3.2 Ergebnisse der ARW-Untersuchungen (2014 - 2016) an der Messstelle Frankfurt/Main

Seit vielen Jahren wird die Messstelle Frankfurt/Main (km 30,3 L) von der Hessenwasser GmbH & Co. KG beprobt. Die langjährigen Datenreihen vieler Wasserqualitätsparameter werden regelmäßig in den ARW-Jahresberichten bewertet und dokumentiert. Die Ergebnisse der Jahre 2014 - 2016 werden hier mit den Anforderungen und Zielwerten des Europäischen Fließgewässermemorandums (ERM) verglichen.

Für viele pharmazeutische Wirkstoffe und Metaboliten wird der IAWR-Zielwert von 0,1 µg/L zum Teil deutlich überschritten (Tabelle 3.1). Die höchsten Konzentrationen wurden für das Antidiabetikum **Metformin** und den zugehörigen Metaboliten **Guanylharnstoff** gefunden. Diese beiden Verbindungen sind nicht wasserwerksrelevant, da sie bei normalen Bedingungen im Untergrund nicht mobil sind. Für Wirkstoffe wie **Gabapentin** (Antiepileptikum), **Hydrochlorothiazid** (Diuretikum) und **Metoprolol** (Betablocker) liegen bereits die Mittelwerte über dem ERM-Zielwert von 0,1 µg/L. **Carbamazepin** (Antiepileptikum) und **Diclofenac** (Analgetikum) verletzen ebenfalls den ERM-Zielwert deutlich und längerfristig.

Stabile Metaboliten wie **Guanylharnstoff** (Wirkstoff Metformin) und **10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin** (Wirkstoff Carbamazepin) sowie die Metaboliten von Metamizol **N-Acetyl-4-amino-antipyrin** (AAA) und **N-Formyl-4-aminoantipyrin** (FAA) wurden häufig in Konzentrationen gefunden, die deutlich oberhalb der Gehalte der betreffenden Wirkstoffe liegen.

Die Konzentrationen von iodierten Röntgenkontrastmitteln (RKM) sind in Tabelle 3.2 zusammengefasst. Hier wird für die fünf wichtigsten RKM (**Amidotrizoesäure**, **Iohexol**, **Iomeprol**, **Iopamidol** und **Iopromid**) der ERM-Zielwert von 0,1 µg/L bereits vom Jahresmittel zum Teil erheblich überschritten. Diese Stoffe gelten als stabil und mobil im Untergrund und sind daher für die Wasserversorger von Bedeutung.

Tabelle 3.1: Mittel- und Maximalwerte von Arzneimittelwirkstoffen und Metaboliten (2014 - 2016) im Main bei Frankfurt

Konzentrationen in µg/L	2014		2015		2016	
	Mw.	Max.	Mw.	Max.	Mw.	Max.
Bezafibrat	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03
Carbamazepin	0,08	0,11	0,08	0,14	0,07	0,13
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin (M)	0,23	0,47	0,14	0,24	0,10	0,16
Diclofenac	0,12	0,35	0,09	0,16	0,09	0,18
Metoprolol	0,14	0,19	0,11	0,20	0,12	0,23
Sotalol	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02
Sulfamethoxazol	0,06	0,08	0,06	0,20	0,04	0,06
N-Acetyl-Sulfamethoxazol (M)	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
Metformin	0,91	1,1	0,75	1,3	0,75	1,3
Guanylharnstoff (M)	2,3	6,3	1,6	2,9	1,6	2,5
Gabapentin	0,57	0,81	0,42	0,60	0,28	0,44
Lamotrigin	0,08	0,13	0,09	0,17	0,06	0,09
Hydrochlorothiazid	0,14	0,40	0,12	0,31	0,11	0,27
N-Acetyl-4-aminoantipyrin (AAA) (M)	0,26	0,46	0,27	0,44	0,22	0,30
N-Formyl-4-aminoantipyrin (FAA) (M)	0,31	0,53	0,53	1,9	0,29	0,45
ERM-Zielwert: 0,1 µg/L, (M) = Metabolit						

Tabelle 3.2: Mittel- und Maximalwerte von Röntgenkontrastmitteln (2014 - 2016) im Main bei Frankfurt.

Konzentrationen in µg/L	2014		2015		2016	
	Mw.	Max.	Mw.	Max.	Mw.	Max.
Amidotrizoesäure	0,81	2,1	0,51	0,90	0,39	0,72
Iohexol	0,18	0,35	0,16	0,26	0,16	0,29
Iomeprol	0,32	0,60	0,39	0,73	0,30	0,88
Iopamidol	0,40	0,58	0,31	0,57	0,36	0,69
Iopromid	0,25	0,66	0,14	0,23	0,25	0,49
ERM-Zielwert: 0,1 µg/L						

Des Weiteren konnten erhöhte Konzentrationen von verschiedenen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen (PSM) und ihren Metaboliten (PSM-Metaboliten) im Main bei Frankfurt festgestellt werden (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Mittel- und Maximalwerte von PSM und PSM-Metaboliten (2014 - 2016) im Main bei Frankfurt

Konzentrationen in µg/L	2014		2015		2016	
	Mw.	Max.	Mw.	Max.	Mw.	Max.
Isoproturon	<0,03	0,14	< 0,03	0,19	< 0,05	< 0,05
Glyphosat	<0,07	0,11	< 0,05	0,10	< 0,05	0,08
N,N-Dimethylsulfamid (DMS)	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06
Desphenylchloridazon (DPC, Metabolit B)	0,27	0,37	0,22	0,29	0,19	0,24
Methyl-desphenylchlorida- zon (Metabolit B1)	0,07	0,14	0,04	0,09	0,04	0,06
Metazachlor-C-Metabolit	0,04	0,09	0,05	0,19	0,07	0,19
Metazachlor-S-Metabolit	0,11	0,16	0,13	0,25	0,14	0,26
S-Metolachlor-C-Metabolit	0,01	0,09	0,01	0,03	0,02	0,07
S-Metolachlor-S-Metabolit	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04	0,07
ERM-Zielwert: 0,1 µg/L						

Dabei wurden im Untersuchungsjahr 2016 für die Metaboliten **Desphenylchloridazon** (Wirkstoff Chloridazon), **Metazachlor-C-Metabolit** und **Metazachlor-S-Metabolit** vergleichsweise hohe Konzentrationen gemessen.

Wie aus Tabelle 3.4 hervorgeht, haben die perfluorierten Verbindungen (**PFBA**, **PFOA**, **PFBS** und **PFOS**) keine Bedeutung für die Wasserbeschaffenheit im Main. Andere Industriechemikalien wie **Melamin** und die **Benzotriazole** hingegen überschreiten den ERM-Zielwert von 0,1 µg/L z. T. erheblich.

Tabelle 3.4: Mittel- und Maximalwerte von ausgewählten Industriechemikalien (2014 – 2016) im Main bei Frankfurt

Konzentrationen in µg/L	2014		2015		2016	
	Mw.	Max.	Mw.	Max.	Mw.	Max.
NTA	0,7	2,4	<0,5	0,7	<0,5	0,7
EDTA	6,0	7,5	6,8	10	7,4	12
DTPA	4,2	8,8	6,4	15	7,5	22
Benzotriazol	0,94	1,3	0,88	1,3	0,85	1,3
4-Methylbenzotriazol	0,37	0,52	0,33	0,56	0,26	0,42
5-Methylbenzotriazol	0,15	0,21	0,13	0,20	0,11	0,17
Melamin	1,4	2,5	1,6	2,8	1,4	3,1
PFBA	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002
PFOA	0,002	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003
PFBS	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002
PFOS	0,004	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004
ERM-Zielwert: 0,1 µg/L, für NTA, EDTA, DTPA und Melamin 1 µg/L						

Für die synthetischen Komplexbildner liegt der ERM-Zielwert seit 2013 bei 1 µg/L. Während für das gut abbaubare **NTA** dieser Wert eingehalten wird, liegen die beiden anderen Verbindungen **EDTA** und insbesondere **DTPA** erheblich oberhalb der Anforderungen. Speziell für DTPA ist die Herkunft am Main seit vielen Jahren bekannt und es wird seitens der Wasserversorgungsunternehmen erwartet, dass ähnlich wie am Rhein eine deutliche Reduzierung der industriell bedingten Einträge erfolgt. Mittlerweile stammt ein Großteil der DTPA-Frachten (Bild 3.2) im Rhein bei Düsseldorf (2016: 48,7 t/a) aus dem Main, wie der Vergleich mit den Daten von Frankfurt-Osthafen zeigt (2016: 32,3 t/a).

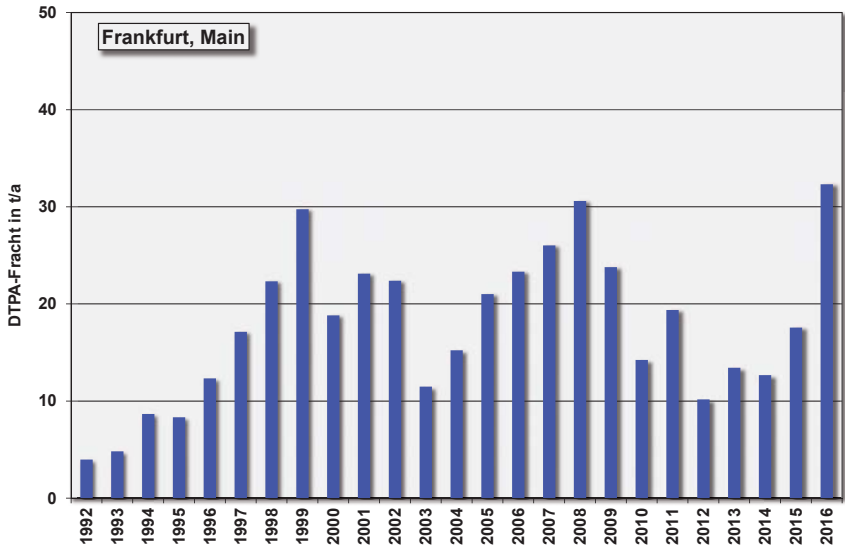


Bild 3.2: DTPA-Frachten im Main bei Frankfurt (1992 - 2016)

Im Verhältnis zu DTPA weist EDTA im Längsprofil des unteren Mains (Hanau bis Mündung) im März 2017 deutlich höhere Konzentrationen auf (Bild 3.3). Die Konzentrationen an EDTA liegen mit bis zu 12,7 µg/L im Vergleich zu anderen Fließgewässern recht hoch und sind in den letzten beiden Jahren wieder geringfügig angestiegen. Die niedrigen DTPA-Werte in Bild 3.3 sind auf den Zeitpunkt der Probennahme zurückzuführen, da im März 2017 die DTPA-Konzentrationen vergleichsweise niedrig lagen. In den letzten Jahren schwankten diese Werte im Bereich unterhalb der Bestimmungsgrenze bis maximal 24 µg/L und zeigen seit 2014 wieder eine ansteigende Tendenz insbesondere bei den Maximalwerten.

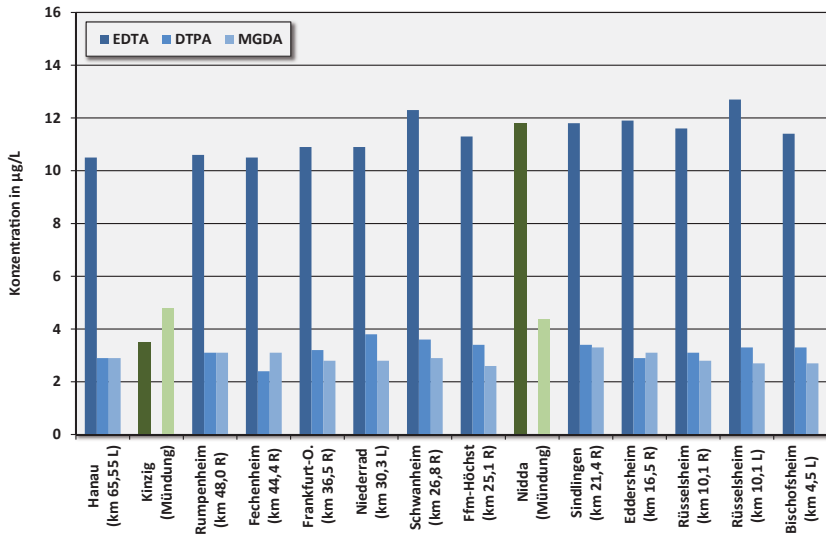


Bild 3.3: Konzentrationen von Komplexbildnern im Untermain (März 2017, Daten von Hessenwasser)

Wesentlich niedriger, jedoch noch deutlich oberhalb des ERM-Zielwertes liegen die Konzentrationen des Komplexbildners **MGDA**. Erhöhte Befunde werden dabei in den Nebengewässern Kinzig und Nidda festgestellt. MGDA findet u. a. in Prozessen der Papier- und Zellstoffproduktion Anwendung. Da MGDA gut abbaubar ist, wird es nicht als relevant für die Trinkwassergewinnung eingestuft.

Benzotriazole, die ebenfalls den ERM-Zielwert von 0,1 µg/L deutlich überschreiten, finden sich im gesamten unteren Main (Bild 3.4). Die höchsten Konzentrationen weist dabei Benzotriazol selbst auf. An einzelnen Entnahmestellen wurde bei der Beprobung vom 28. März 2017 der Wert von 1 µg/L deutlich überschritten.

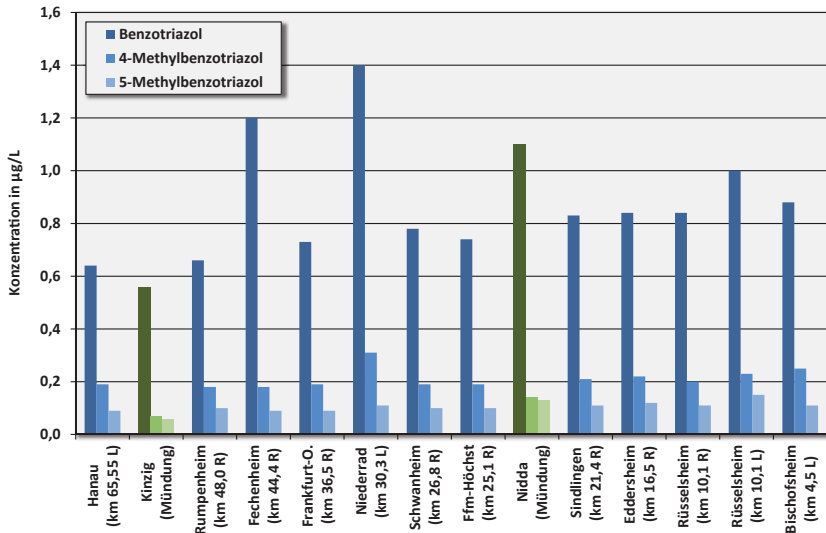


Bild 3.4: Konzentrationen von Benzotriazolen im Untermain (März 2017, Daten von Hessenwasser)

Bei den künstlichen Süßstoffen werden für **Cyclamat**, **Saccharin** und **Sucralose** die Anforderungen des ERM erfüllt (ERM-Zielwert 1 µg/L). Für **Acesulfam** ist ein Rückgang der Konzentrationen im Main zu beobachten, was im Einklang zur Entwicklung am Rhein steht. Lagen im Zeitraum 2010 - 2012 die Maximalwerte im Main noch im Bereich von ca. 4 µg/L, so wurde 2016 erstmals der ERM-Zielwert nicht mehr überschritten. Im Gegenzug sind jedoch die Konzentrationen für Sucralose deutlich angestiegen, was die Vermutung einer Substitution von Acesulfam durch Sucralose nahelegt.

Tabelle 3.5: Mittel- und Maximalwerte von Süßstoffen (2014 - 2016) im Main bei Frankfurt.

Konzentrationen in µg/L	2014		2015		2016	
	Mw.	Max.	Mw.	Max.	Mw.	Max.
Acesulfam	1,45	2,6	0,98	1,7	0,58	0,99
Cyclamat	0,15	0,31	0,20	0,90	0,21	0,51
Saccharin	0,12	0,18	0,19	0,80	0,14	0,27
Sucralose	0,32	0,42	0,45	0,76	0,47	0,79
ERM-Zielwert: 1 µg/L						

3.3 Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2017

Im Herbst 2016 wurden die ersten und in ihrer Höhe bemerkenswerten Befunde von **TFA** (Trifluoracetat) im Neckar festgestellt. Neben der für den Neckar nachgewiesenen Industrie-einleitung kann TFA auch als Abbauprodukt von PSM-Wirkstoffen über die Landwirtschaft in Gewässer eingetragen werden. Weitere Quellen wie die Herkunft aus Kältemitteln (FKW) nach photochemischem Abbau in der Atmosphäre und Deposition durch Niederschläge sind bekannt, jedoch schwierig zu quantifizieren.

Die bei den Untersuchungen am Untermain ermittelten TFA-Befunde sind in Bild 3.5 wiedergegeben. Die Konzentrationen liegen in der erwarteten Größenordnung von ca. 1 µg/L. Die Nebengewässer Kinzig und Nidda weisen geringere Konzentrationen auf.

Mit Melamin und 1,4-Dioxan wurden zwei Verbindungen in den Untersuchungsumfang aufgenommen, die sowohl über industrielle als auch kommunale Kläranlagen eingetragen werden können.

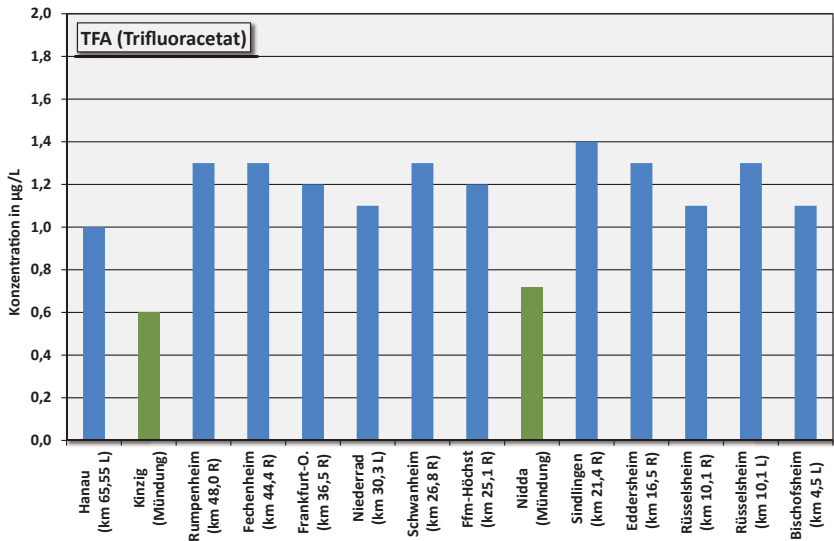


Bild 3.5: Konzentrationen von TFA im Untermain (März 2017)

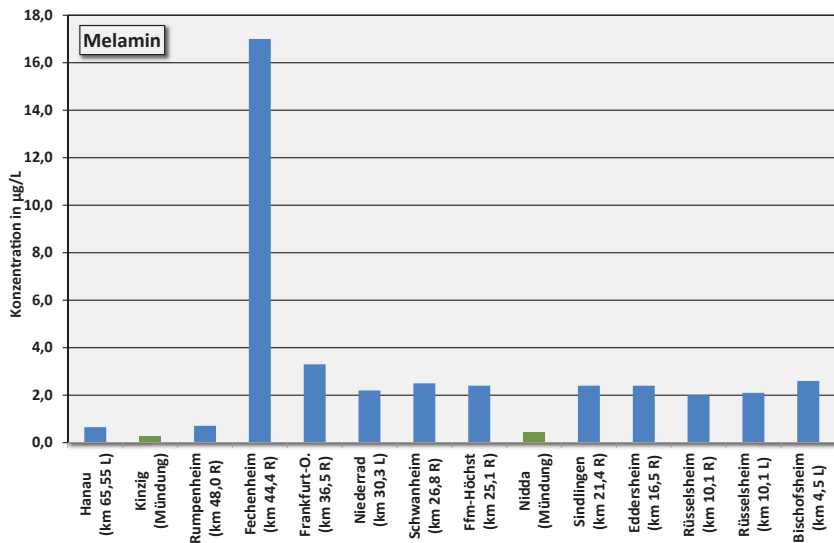


Bild 3.6: Konzentrationen von Melamin im Untermain (März 2017)

Melamin (Bild 3.6) ist ein wichtiger Ausgangsstoff in den Bereichen der Holzwerkstoffleime und Harze. Die hohe Bruchsicherheit ist u.a. Grundlage der Verwendung bei z. B. Campinggeschirr. Besonders auffällig ist der sehr hohe Wert in der Probe von Fechenheim bei Main-km 44,4 R. Dies ist auf Abwässer eines nahegelegenen melaminspezifischen Industriebetriebs zurückzuführen. Im Längsprofil ist die Zunahme der Melamin-Konzentrationen durch diesen Eintrag gut nachzuvollziehen. Im unteren Main liegen die Konzentrationen oberhalb von Fechenheim deutlich unter 1 µg/L und unterhalb im Bereich von 2 µg/L und damit oberhalb des geforderten ERM-Zielwertes von 1 µg/L.

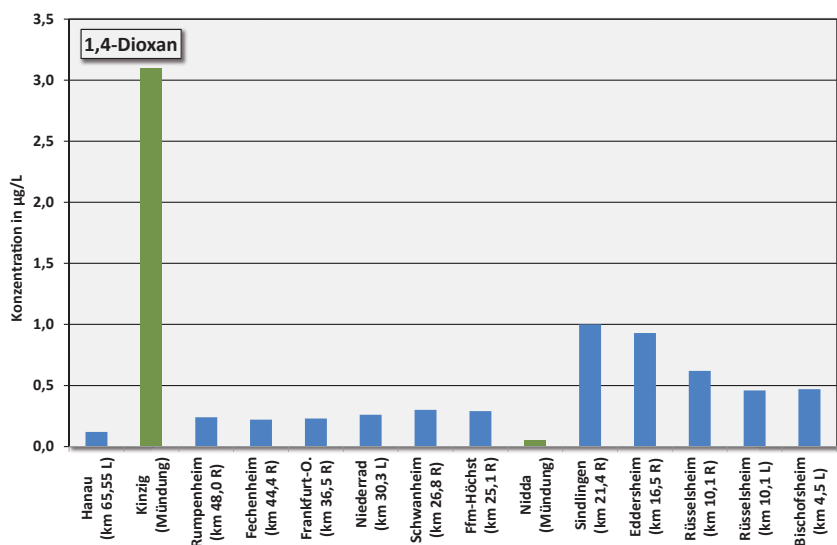


Bild 3.7: Konzentrationen von 1,4-Dioxan im Unterrhein (März 2017)

1,4-Dioxan (Bild 3.7) ist als Lösungsmittel mit einem niedrigeren ERM-Zielwert von 0,1 µg/L belegt. Mit Ausnahme der Nidda überschreiten die Konzentrationen diesen Wert z.T. deutlich. In der Mündung der Kinzig wurde mit ca. 3 µg/L die höchste Konzentration an 1,4-Dioxan festgestellt. Ein weiterer sprunghafter Anstieg auf Werte um 1 µg/L ist bei Sindlingen (km 21,4 R) und damit unterhalb eines großen Industrieparks zu lokalisieren. Stromab gehen die Dioxan-Konzentration dann auf ca 0,5 µg/L zurück.

Im Main und seinen Nebengewässern finden sich zum Teil hohe Konzentrationen an Rückständen von Arzneimitteln und deren Metaboliten. Am Beispiel von **Diclofenac**, einem häufig angewandten Schmerzmittel, wird dies deutlich (Bild 3.8). Die Konzentrationen schwanken vermutlich aufgrund des Einflusses verschiedener Kläranlagen stark. Die Konzentrationen in den Nebengewässern Kinzig und Nidda liegen erwartungsgemäß höher.

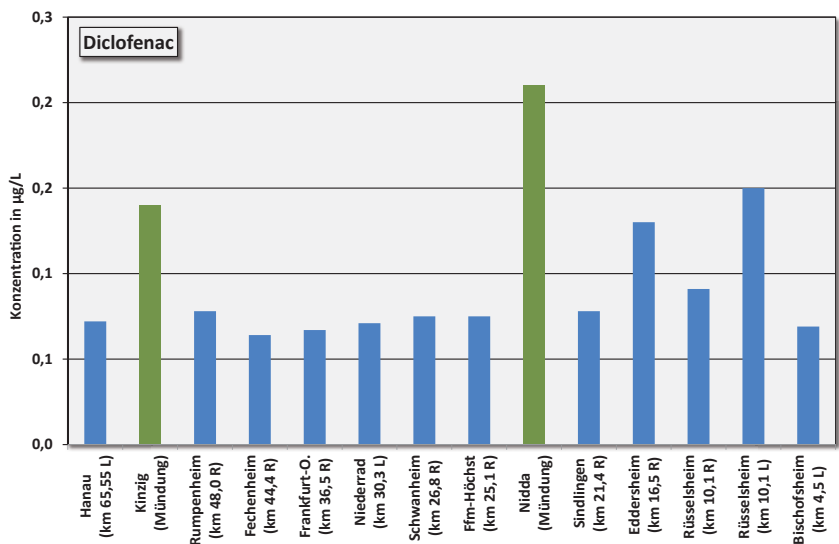


Bild 3.8: Konzentrationen von Diclofenac im Untermain (März 2017)

Die Konzentrationen von **Carbamazepin** und dessen Human-Metaboliten **10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin** sind wie für Diclofenac in der Nidda aufgrund der größeren relativen Abwasserbelastung erhöht (Bild 3.9). Im Längsprofil des unteren Mains zeigt sich eine leichte Zunahme der Konzentrationen. Konzentrationen des Metaboliten 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin liegen regelmäßig über denen von Carbamazepin. Die Bildung des Metaboliten erfolgt im Körper des Patienten, nicht jedoch in der Umwelt.

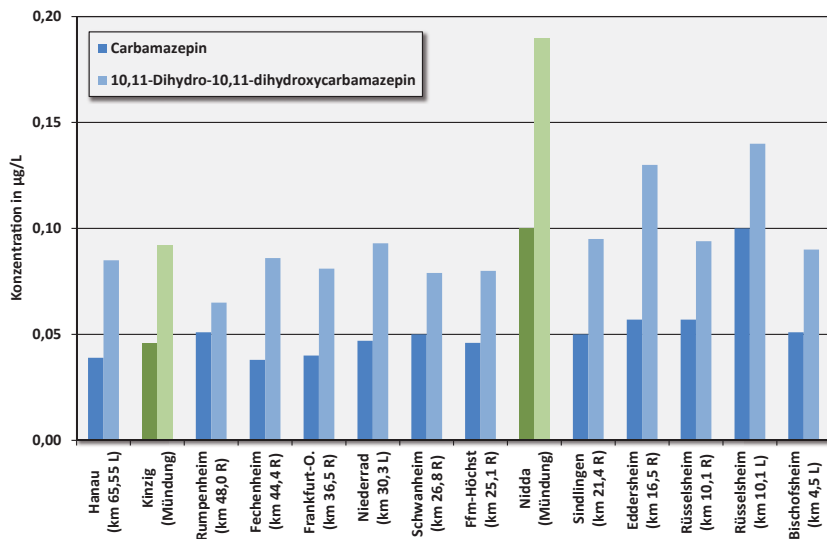


Bild 3.9: Konzentrationen von Carbamazepin und seines Metaboliten im Untermain (März 2017)

Allopurinol ist ein von der WHO als unentbehrlich eingestuftes Arzneimittel gegen Gicht, dessen reaktiver Metabolit **Oxipurinol** der eigentliche Wirkstoff ist. Im ARW-Jahresbericht 2015 wurde für den Niederrhein ein Erwartungswert für die mittlere Konzentration von maximal 1,3 µg/L abgeschätzt. In Bild 3.10 sind die Befunde im Längsprofil des Untermainis wiedergegeben. Die Konzentrationen von Oxipurinol liegen in allen untersuchten Wasserproben oberhalb von 1 µg/L und niedriger als bei der Beprobung im Vorjahr. In den Nebengewässern Kinzig und Nidda sowie an der Entnahmestelle in Rüsselsheim linksseitig wurden die höchsten Konzentrationen gemessen. Im Main-Längsprofil steigen die Konzentrationen von Oxipurinol wie bei vielen anderen Wirkstoffen leicht an.

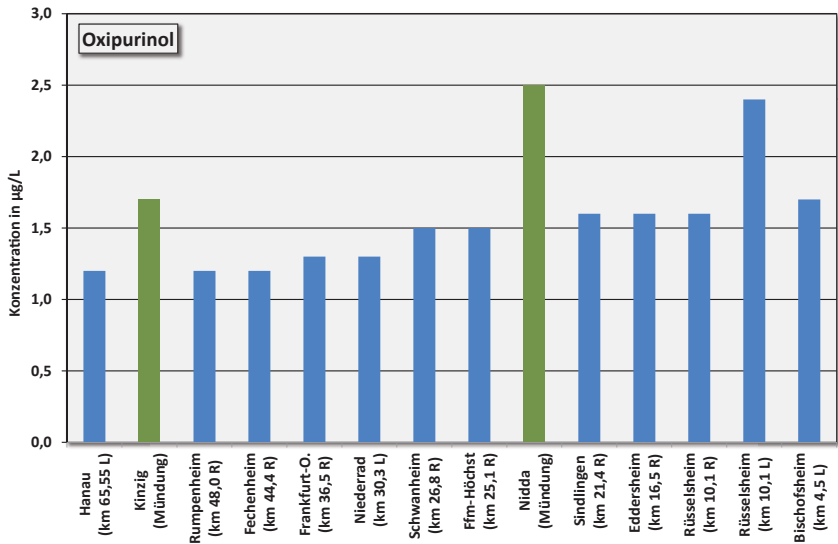


Bild 3.10: Konzentrationen von Oxipurinol im Untermain (März 2017)

Vergleichsweise hohe Konzentrationen wurden erwartungsgemäß für den Wirkstoff **Metformin** gefunden (Bild 3.11). Die Gehalte überschreiten im Main den ERM-Zielwertes von 1 µg/L knapp, in der Nidda jedoch deutlich. Wie bereits erwähnt, sind sowohl Metformin als auch der Metabolit **Guanylharnstoff** im Untergrund nicht mobil, so dass beide Stoffe in der Regel nicht im Trinkwasser nachgewiesen werden.

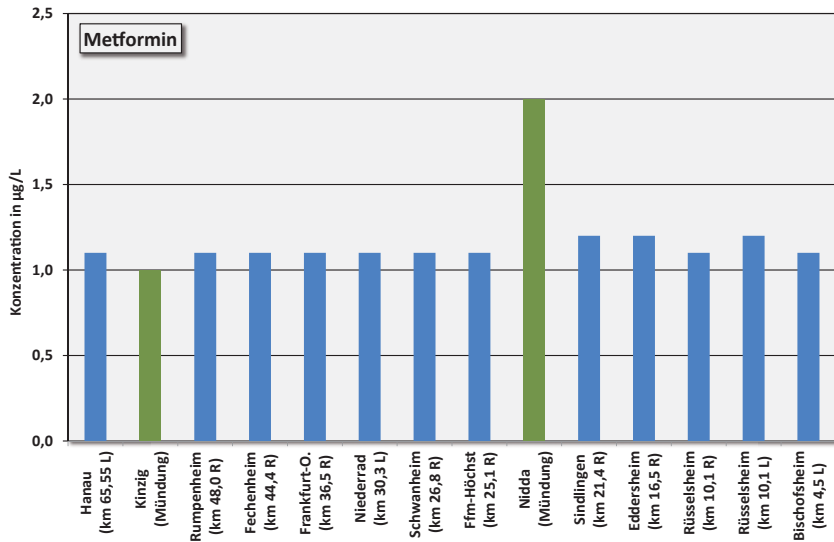


Bild 3.11: Konzentrationen von Metformin im Untermain (März 2017)

Sartane sind Wirkstoffe bei der Behandlung von Bluthochdruck oder Herzinsuffizienz. Wichtige Vertreter sind **Candesartan**, **Telmisartan** und **Valsartan**, dessen Metabolit **Valsartansäure** ebenfalls bestimmt wurde. In Bild 3.12 sind die Befunde für Valsartan und Valsartansäure dargestellt. Die Konzentrationen bewegen sich dabei im Untermain im Bereich oberhalb des ERM-Zielwertes von 0,1 µg/L. Die höchsten Befunde mit nahezu 0,8 µg/L wurden in der Nidda gemessen. Durchgängig liegen die Konzentrationen des Metaboliten deutlich unter denen des Wirkstoffs.

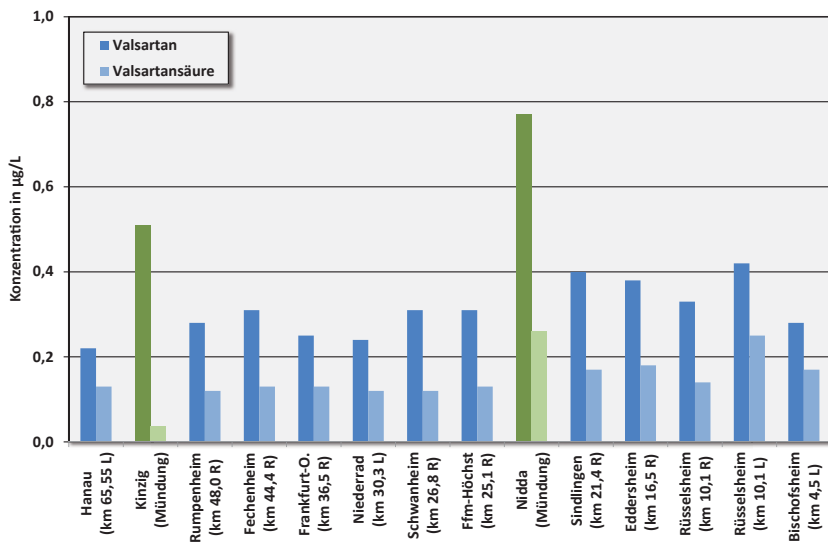


Bild 3.12: Konzentrationen von Valsartan und Valsartansäure im Untermain (März 2017)

Der Metabolit **O-Desmethylvenlafaxin** des Wirkstoffes **Venlafaxin** (Antidepressivum) (Bild 3.13) erreicht bzw. überschreitet in Mündungsnähe den ERM-Zielwert von 0,1 µg/L. Der Wirkstoff selbst und der weitere Metabolit Didesmethylvenlafaxin hingegen liegen mit ihren Konzentrationen deutlich darunter.

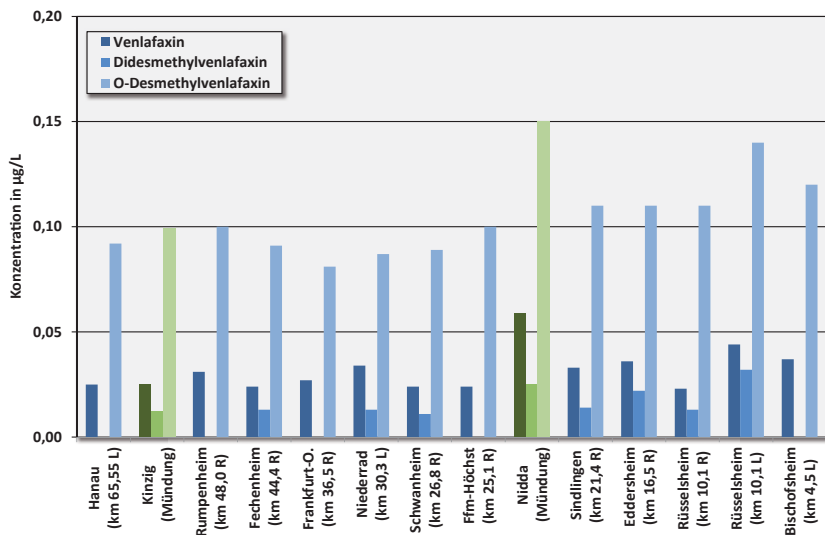


Bild 3.13: Konzentrationen von Venlafaxin und den Metaboliten (Didesmethylvenlafaxin, O-Desmethylvenlafaxin) im Untermain (März 2017)

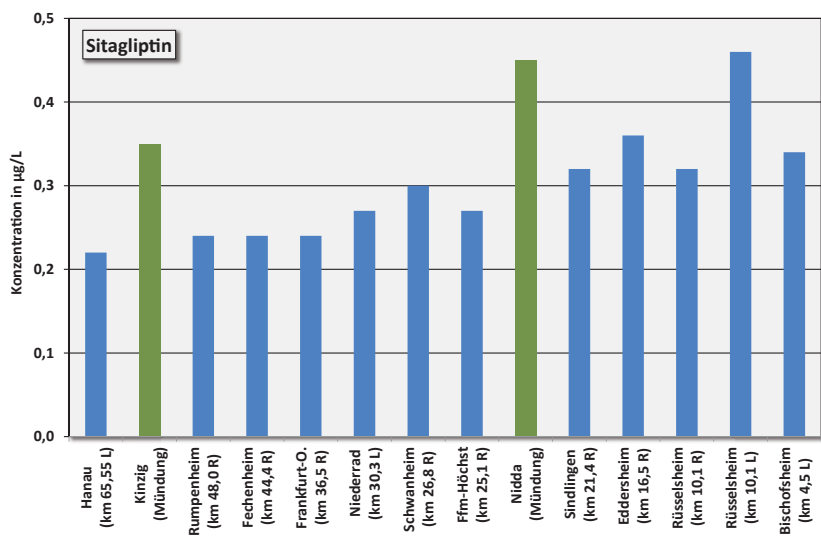


Bild 3.14: Konzentrationen von Sitagliptin im Main-Längsprofil (März 2017)

Der pharmazeutische Wirkstoff **Sitagliptin** (Bild 3.14) wurde erst vor kurzem in den Analysenumfang aufgenommen. Als Kombipräparat zusammen mit Metformin wird er zur Senkung des Blutzuckers eingesetzt. Die Konzentrationen liegen durchweg im Bereich oberhalb von 0,2 µg/L und nehmen im Verlauf des Gewässers zur Mündung hin zu. Wie bei vielen der untersuchten Pharmaka sind die Konzentrationen in den untersuchten Nebengewässern deutlich höher als im Main nahe der Mündung dieser Nebengewässer.

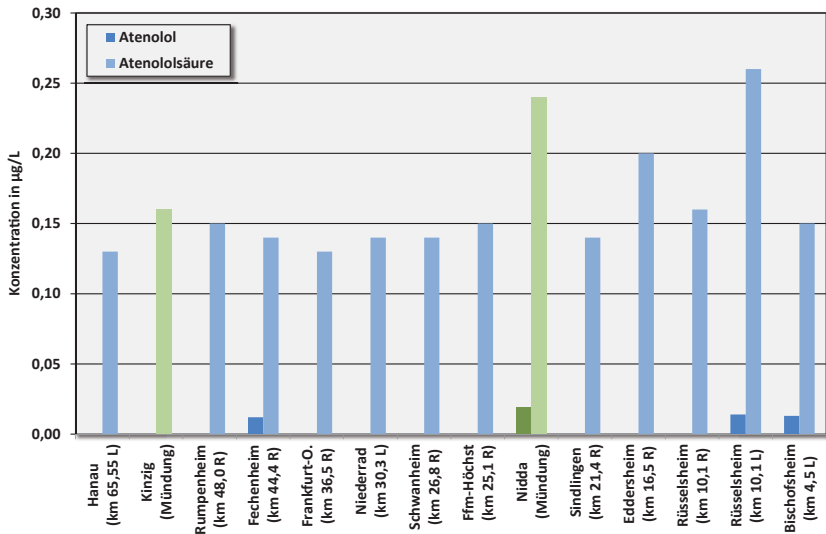


Bild 3.15: Konzentrationen von Atenolol und Atenololsäure im Untermain (März 2017)

Atenololsäure ist der bekannte Metabolit von Atenolol (Betablocker). Die Konzentrationen der Atenololsäure liegen im gesamten untersuchten Gebiet oberhalb des ERM-Zielwertes von > 0,1 µg/L. Die Konzentrationen des eigentlichen Wirkstoffes **Atenolol** überschreiten nur gelegentlich die Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/L (Bild 3.15).

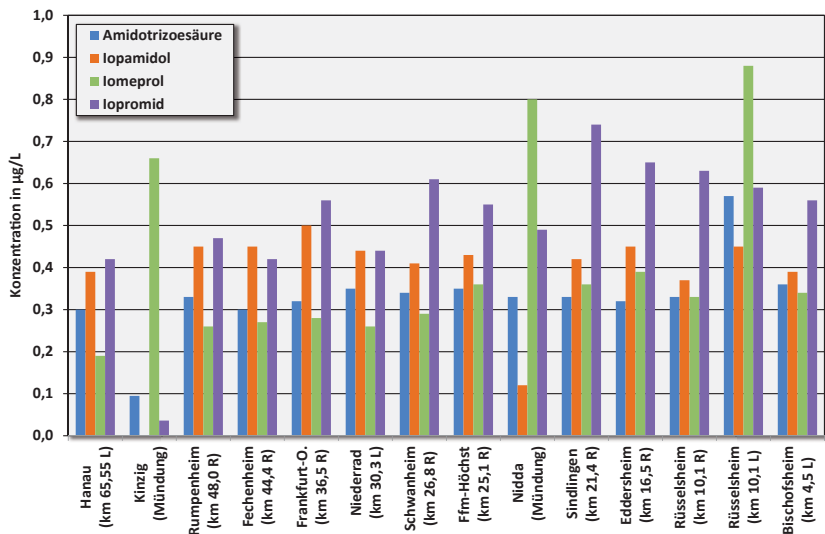


Bild 3.16: Konzentrationen von Röntgenkontrastmitteln im Untermain (März 2017)

Die Konzentrationen der vier Röntgenkontrastmittel (RKM) **Amidotrizoesäure**, **Iopamidol**, **Iomeprol** und **Iopromid** liegen - mit Ausnahme in der Kinzig - durchweg oberhalb des ERM-Zielwertes von 0,1 µg/L (Bild 3.16).

Die Gehalte der persistenten und mobilen Amidotrizoesäure scheinen am Main in den letzten Jahren rückläufig zu sein, wie die Daten von der Messstelle Frankfurt (Tabelle 3.2) belegen. Allerdings ist ein weiterer Rückgang aus Sicht der Wasserversorgung notwendig, da die Amidotrizoesäure selbst mit einer Aktivkohlefiltration nicht vollständig entfernbar ist. Für die anderen RKM ist eine Entwicklung hin zu geringeren Belastungen im Fließgewässer nicht festzustellen.

Neben den hier genannten Spurenstoffen sind eine ganz Reihe weiterer Verbindungen nachgewiesen worden, die allerdings den ERM-Zielwert nicht überschreiten.

Mit **TMDD** wurde vom Labor der Hessenwasser GmbH & Co. KG ein Tensid nachgewiesen, dessen Gehalt im Main bei Sindlingen (km 21,4) sprunghaft ansteigt und Werte um 0,3 µg/L überschreitet (Bild 3.17). Sindlingen liegt in unmittelbarer Nachbarschaft des Industrieparks Höchs, so dass hier insbesondere der Einfluss industrieller Einleitungen erkennbar ist.

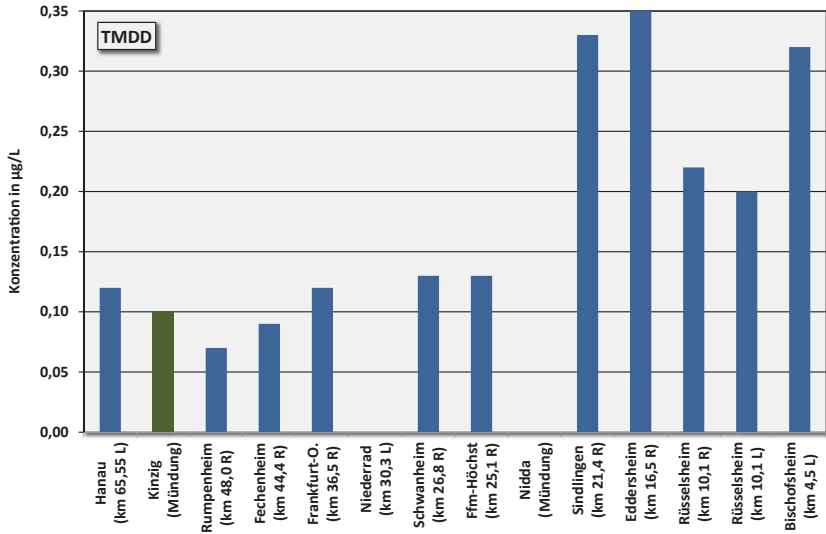


Bild 3.17: Konzentrationen von TMDD im Untermain (März 2017, Daten von Hessenwasser)

3.4 Schlussbemerkungen

Nach der Erfassung eines Längsprofils im August 2015 zwischen Nürnberg und der Main-Mündung wurde im März 2017 erneut der untere Main ab Hanau beprobt. Einige zusätzliche Probennahmestellen konnten dabei berücksichtigt werden. Der Untersuchungsumfang wurde etwas reduziert, um dafür weitere wichtige Verbindungen wie 1,4-Dioxan und TFA aufzunehmen.

Deutlich erkennbar ist der Einfluss verschiedener Nebengewässer und der Einträge aus kommunalen und industriellen Kläranlagen. Weitere Beobachtungskampagnen sind erforderlich, um vor allem Einleitungen gezielt zu identifizieren.

