



Arzneimittelwirkstoffe und ausgewählte Metaboliten

Untersuchungen in bayerischen Gewässern
2004 - 2008



Impressum

Titel der Druckschrift:
Arzneimittelwirkstoffe und ausgewählte Metaboliten

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (08 21) 90 71-0
Fax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:
LfU, Referat 75, Dr. Manfred Sengl, Walter Schüßler

Redaktion:
LfU, Referat 75, Dr. Manfred Sengl, Walter Schüßler

Bildnachweis:
Bayerisches Landesamt für Umwelt

Druck:
Eigendruck der Druckerei Bayerisches Landesamt für Umwelt
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:
November 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 8 |
| 2 | Untersuchte Arzneimittelwirkstoffe und Metaboliten | 8 |
| 3 | Messstellen und Probenahme | 13 |
| 4 | Analysenverfahren | 14 |
| 4.1 | Vorbemerkung | 14 |
| 4.2 | Probenvorbereitung | 14 |
| 4.2.1 | Extraktion | 14 |
| 4.2.2 | Elution | 15 |
| 4.3 | Hochdruckflüssigkeitschromatographie-Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) | 15 |
| 4.4 | Methode für massenspektrometrische Detektion | 16 |
| 5 | Ergebnisse | 19 |
| 5.1 | Fließgewässer | 19 |
| 5.1.1 | Vorbemerkungen | 19 |
| 5.1.2 | Betarezeptorenblocker | 19 |
| 5.2.3 | Antibiotika | 23 |
| 5.1.3 | Antiepileptika | 26 |
| 5.1.4 | Metamizol-Metaboliten | 29 |
| 5.2 | Kläranlagenabläufe | 30 |
| 5.2.1 | Betarezeptorenblocker | 30 |
| 5.2.2 | Antibiotika | 32 |
| 5.2.3 | Antiepileptika | 33 |
| 5.2.4 | Auswirkungen von UV-Anlagen in Kläranlagen auf die Arzneimittelwirkstoffkonzentrationen | 34 |
| 6 | Diskussion | 36 |
| 7 | Literatur | 39 |
| 8 | Anhang | 40 |
| 8.1 | Karten mit Beschreibung der Probenahmestellen | 40 |
| 8.2 | Messwert-Tabellen | 50 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Chromatogramm (TIC) der Tochterionen Teil 1 | 17 |
| Abb. 2: Chromatogramm (TIC) der Tochterionen Teil 2 | 18 |
| Abb. 3: Metoprolol im Main bei Marktheidenfeld | 20 |
| Abb. 4: Sotalol im Main bei Marktheidenfeld | 20 |
| Abb. 5: Betarezeptorenblocker mit linearem Trend in der Donau bei Bad Abbach | 21 |
| Abb. 6: Betarezeptorenblocker mit linearem Trend in der Ebrach | 21 |
| Abb. 7: Vergleich der Mediane der Betarezeptorenblockerkonzentrationen in Fließgewässern | 22 |
| Abb. 8: Vergleich von Makrolidantibiotika in der Ebrach | 23 |
| Abb. 9: Sulfamethoxazol und Hauptmetabolit im Main bei Marktheidenfeld | 25 |
| Abb. 10: Sulfamethoxazol und Hauptmetabolit in der Würm vor Mündung in die Amper | 25 |
| Abb. 11: Carbamazepin und Hauptmetabolit im Main bei Marktheidenfeld | 26 |
| Abb. 12: Carbamazepin und Hauptmetabolit in der Donau bei Bad Abbach | 27 |
| Abb. 13: Primidon und Hauptmetabolit im Main bei Marktheidenfeld | 28 |
| Abb. 14: Primidon und Hauptmetabolit in der Donau bei Bad Abbach | 28 |
| Abb. 15: Vergleich der Mediane der Antiepileptikakonzentrationen in Fließgewässern | 29 |
| Abb. 16: Metamizolmetaboliten im Main bei Marktheidenfeld | 30 |
| Abb. 17: Betarezeptorenblocker im Ablauf der Kläranlage München 2 | 31 |
| Abb. 18: Betarezeptorenblocker im Ablauf der Kläranlage Geiselbullach | 31 |
| Abb. 19: Mediane der Arzneimittelkonzentrationen in zwei Kläranlagenabläufen | 32 |
| Abb. 20: Sulfamethoxazol und Hauptmetabolit im Ablauf der Kläranlage Geiselbullach | 33 |
| Abb. 21: Vergleich zweier Antiepileptika im Ablauf der Kläranlage Geiselbullach | 34 |
| Abb. 22: Wirkung der UV-Behandlung von Betarezeptorenblocker in Kläranlagenabläufen | 35 |
| Abb. 23: Wirkung der UV-Behandlung von Metamizolmetaboliten in Kläranlagenabläufen | 35 |
| Abb. 24: Karte mit Probenahmestelle: Main bei Marktheidenfeld | 40 |
| Abb. 25: Karte mit Probenahmestelle: Donau bei Bad Abbach | 41 |
| Abb. 26: Karte mit Probenahmestelle: Isar bei Plattling | 42 |
| Abb. 27: Karte mit Probenahmestelle: Amper bei Mündung in die Isar | 43 |
| Abb. 28: Karte mit Probenahmestelle: Würm bei Mündung in die Amper | 44 |
| Abb. 29: Karte mit Probenahmestelle: Ebrach nach Einleitung der Kläranlage Ebersberg | 45 |
| Abb. 30: Karte mit Probenahmestelle: Murn vor Mündung in den Inn | 46 |

| | |
|---|----|
| Abb. 31: Karte mit der Probenahmestelle: Kläranlage Geiselbullach | 47 |
| Abb. 32: Karte mit Probenahmestelle: Kläranlage München 2 | 48 |
| Abb. 33: Karte mit Probenahmestelle: Kläranlage Starnberg | 49 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Untersuchte Wirkstoffe mit Verbrauch der untersuchten Arzneimittelwirkstoffe in Deutschland 2008 und 2003 (kursiv) | 9 |
| Tab. 2: Angaben zur Elimination von Arzneimittelwirkstoffen beim Menschen | 11 |
| Tab. 3: Berechnung der theoretisch in die Kläranlagen eingetragenen Arzneimittelwirkstoffmengen (auf Basis der vertragsärztlichen Verschreibungen 2008) | 12 |
| Tab. 4: Beschreibung der Probenahmestellen der Fließgewässer und Kläranlagen | 13 |
| Tab. 5: Vergleich der theoretisch in die Kläranlagen eingetragenen Antibiotikamengen* mit den Konzentrationen (Mediane) in der Ebrach | 24 |
| Tab. 6: Wirkstoffkonzentrationen (Mediane) in Kläranlagenabläufen aus Literatur 12 sowie aus dem bayerischen Arzneimittelmonitoring (alle Werte in µg/l) | 36 |
| Tab. 7: Wirkstoffkonzentrationen (Mediane) in Oberflächengewässern aus Literatur 12 sowie aus dem bayerischen Arzneimittelmonitoring (alle Werte in µg/l) | 37 |
| Tab. 8: Eliminationsverhalten von Arzneimittelwirkstoffen und Metaboliten für die im bayerischen Arzneimittelmonitoring untersuchten Einzelverbindungen gemäß Literatur [12] | 37 |
| Tab. 9: Main bei Marktheidenfeld (Konz. in ng/l) Teil 1 | 50 |
| Tab. 10: Main bei Marktheidenfeld (Konz. in ng/l) Teil 2 | 51 |
| Tab. 11: Donau bei Bad Abbach (Konz. in ng/l) | 52 |
| Tab. 12: Isar bei Plattling (Konz. in ng/l) | 53 |
| Tab. 13: Amper vor Mündung in die Isar (Konz. in ng/l) | 54 |
| Tab. 14: Würm vor Mündung in die Amper (Konz. in ng/l) | 55 |
| Tab. 15: Ebrach nach Einleitung der Kläranlage Ebersberg (Konz. in ng/l) | 56 |
| Tab. 16: Murn vor Mündung in den Inn (Konz. in ng/l) | 57 |
| Tab. 17: Kläranlagenablauf München 2 (Konz. in ng/l) | 58 |
| Tab. 18: Kläranlagenablauf Geiselbullach (Konz. in ng/l) | 59 |
| Tab. 19: Statistik der Arzneimittelkonzentrationen der Fließgewässer in ng/l | 60 |
| Tab. 20: Statistik der Arzneimittelkonzentrationen der Kläranlagenabläufe in ng/l | 61 |
| Tab. 21: Arzneimittelkonzentrationen in Kläranlagenabläufen vor und nach UV-Behandlung in ng/l | 62 |

Danksagung

Für das Entgegenkommen bei der Probenahme richten wir unseren Dank an

- die Mitarbeiter der Kläranlage Geiselbullach, Lkr. Fürstenfeldbruck
- die Mitarbeiter der Kläranlage München 2, Stadt München
- Herrn U. Wunderlich für die Probenahme in Nordbayern

Für die zuverlässige Durchführung der Analytik danken wir folgenden Mitarbeitern des Referats 75
„Spezielle Analytik für Umweltmonitoring“

Herrn R. Wehrle, Herrn C. Schmidt-Leistner, Frau A. Ripperger und Frau N. Gröger

Kurzfassung

Arzneimittelwirkstoffe werden über das gereinigte Abwasser flächenhaft und kontinuierlich in die Oberflächengewässer eingetragen. Kläranlagen nach dem Stand der Technik können viele Arzneimittelwirkstoffe und ihre Metaboliten nicht oder nur sehr eingeschränkt zurückhalten, so dass die aquatische Umwelt permanent dieser Belastung ausgesetzt ist.

Seit 2004 werden im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht an 7 ausgewählten Oberflächengewässern sowie zwei Kläranlagenabläufen mindestens vierteljährlich Stichproben auf zwölf Arzneimittelwirkstoffe und fünf -metaboliten untersucht. Ziel dieses Monitoringprogramms ist die langfristige Beobachtung der stofflichen Belastung sowie die Trendermittlung.

Die ermittelten Daten werden mit den jährlich im „Arzneiverordnung-Report“ veröffentlichten Verschreibungsmengen in Deutschland sowie mit Daten aus der nationalen und internationalen Literatur verglichen.

Bei den Arzneimittelwirkstoffen liegen die ermittelten Mediane meist deutlich unter 1 µg/l. Die höchsten Mediane in Oberflächengewässern wurden für die Metaboliten des Schmerzmittels Metamizol sowie des Antiepileptikums Carbamazepin im Konzentrationsbereich bis 1 µg/l gefunden. Trends wie z.B. die höheren Verschreibungsmengen des Betarezeptorenblockers Metoprolol lassen sich in Oberflächengewässern gut nachvollziehen.

Vergleicht man die in Bayern analysierten Stoffkonzentrationen mit den in einer umfassenden Auswertung der nationalen und internationalen Literatur berechneten Medianen, so zeigen sich sehr ähnliche Belastungen der Oberflächengewässer. Auch wenn Schwankungen aufgrund der örtlichen Bedingungen (wie z.B. Abwasseranteil oder Abflussverhältnisse bei der Probenahme) vorliegen, lässt sich doch die Belastung mit einer Vielzahl von Arzneimittelwirkstoffen auch für die Fläche in Bayern gut vorher-sagen.

Monitoringuntersuchungen sind ein wichtiger Bestandteil der systematischen Überwachung der Sicherheit von Arzneimitteln (Pharmakovigilanz unter Umweltgesichtspunkten). Gleichzeitig schaffen sie eine Datengrundlage für ökotoxikologischen Bewertungen, für die Überprüfung von Stofffluss-Modellen und für die Begleitung von Risikominderungsmaßnahmen z.B. beim Einsatz von weitergehenden Abwasserreinigungstechniken.

Das Arzneimittel-Monitoring in Bayern wird in den nächsten Jahren fortgeführt, wobei im Rahmen der vorhandenen Kapazitäten bezüglich der Probenahmestellen sowie der Stoffauswahl Ergänzungen vorgesehen sind.

1 Einleitung

Das Landesamt für Umwelt hat sich im Projekt „Arzneimittel in der Umwelt“ in den Jahren 2000-2002 intensiv mit dem Auftreten von Arzneimittelwirkstoffen und einiger ausgewählter Metaboliten im aquatischen System beschäftigt [1]. Im gleichen Zeitraum wurde im Auftrag des Bund/Länderausschusses für Chemikaliensicherheit (BLAC) ein bundesweites Untersuchungsprogramm „Arzneimittel in der Umwelt“ durchgeführt, das einen repräsentativen Überblick über die Umweltbelastung mit diesen Stoffen in Deutschland gab [2].

Da viele Arzneimittelwirkstoffe und ihre Metaboliten ganzjährig und flächendeckend in die Gewässer eingetragen werden, hielt die Umweltministerkonferenz (UMK) es für notwendig, dass Arzneistoffe „...in Untersuchungsprogrammen der Länder und des Bundes zur Überwachung der Umwelt erheblich stärker berücksichtigt werden“ [3]. Daneben forderte die UMK, eine Umweltbewertung im Zulassungsverfahren für Arzneimittel zu verankern sowie ein Altarzneimittelprogramm auf europäischer Ebene aufzunehmen. Das Umweltbundesamt sollte beauftragt werden, Arzneistoffe und relevante Metaboliten, die in nennenswerten Mengen in die Umwelt gelangen können, zu identifizieren und ggf. neue Testmethoden insbesondere für chronische Arzneimittelexpositionen zu entwickeln.

Die europäische Arzneimittelagentur (EMA) hat zum 01.07.2006 dazu einen Leitfaden zur Abschätzung der Umweltgefährdung durch Humanarzneimittel verabschiedet, der am 01.12.2006 in Kraft trat und seitdem von den Zulassungsbehörden – allerdings nur bei Neuzulassungen – angewandt werden muss [4].

2004 wurde vom LfU ein längerfristig angelegtes „Untersuchungsprogramm Arzneimittel“ in das Handbuch technische Gewässeraufsicht (Teil 1.2.1 Fließgewässer; Punkt 2.2.11) aufgenommen.

Die Untersuchung der Arzneimittelwirkstoffe erfolgte an ausgewählten großen und kleineren Fließgewässern sowie an einzelnen Kläranlagenabläufen. Die Auswahl der Messstellen wurde jährlich überprüft und ggf. angepasst. Einige Messstellen aus dem Projekt „Arzneimittel in der Umwelt“ wurden in die Untersuchungen integriert, um einen langjährigen Trend der Umweltbelastung mit Arzneimittelwirkstoffen beobachten zu können.

Mit diesem Bericht werden im Wesentlichen die Ergebnisse der Jahre 2004 bis 2008 dargestellt. Soweit möglich wurden ältere Untersuchungsbefunde in die Darstellung von Zeitreihen integriert. Das Untersuchungsprogramm wird 2009 in vergleichbarem Umfang fortgeführt.

2 Untersuchte Arzneimittelwirkstoffe und Metaboliten

Zur mittelfristigen Beobachtung der Gewässerbelastungen mit Arzneimittelwirkstoffen wurde die Auswahl der untersuchten Arzneimittelwirkstoffe und Metaboliten auf die in Tab. 1 aufgeführten Stoffe beschränkt. Es wurden die in bisherigen Untersuchungen auffälligen Wirkstoffe bzw. Metaboliten einbezogen, die während der Passage durch die Kläranlage nur in geringem Umfang eliminiert werden. Gleichzeitig erfolgte eine Beschränkung auf Einzelsubstanzen, die mit zwei routinemäßig angewandten Probenanreicherungsverfahren analytisch erfassbar waren. Für viele dieser Stoffe liegen seit 2000 Daten an einigen der ausgewählten Messstellen vor, so dass Zeitreihen unter Berücksichtigung aller vorhandenen Daten erstellt werden konnten (s. Kap.5).

In Tabelle 1 sind die in den Jahren 2008 und 2003 (*kursiv dargestellt*) an gesetzlich versicherte Personen in Deutschland verschriebenen Mengen für jeden Wirkstoff aufgeführt („vertragsärztliche Arzneverordnungen“, die über öffentliche Apotheken abgerechnet wurden [5],[6]). Seit dem Jahr 2002 stehen dabei alle Einzel-Verordnungsdaten zur Verfügung, so dass keine Hochrechnung von Stich-

probenerhebungen erfolgen muss. Die Auswertung für das Jahr 2008 beruht beispielsweise auf rund 788 Mio. Verordnungen auf knapp 455 Mio. Rezeptblättern.

Die Wirkstoffmengen sind in „defined daily doses“ (DDD) angegeben, die im Auftrag der Weltgesundheitsorganisation ermittelt werden [7]. Über die DDD kann die Gesamtabgabemenge des Arzneimittelwirkstoffs bezogen auf ein Jahr berechnet werden. Zu diesen Mengen müssten noch die an Privatpatienten sowie die in Krankenhäusern abgegebenen Arzneimittelmengen addiert werden, um die Gesamtheit der umgesetzten Arzneimittel zu beschreiben. Allerdings gibt es für die beiden letzteren Sektoren keine allgemein verfügbare Datenbasis. Für Wirkstoffe, die (auch) in Form von frei verkäuflichen Präparaten abgegeben werden, ist die mengenmäßige Bilanzierung noch schwieriger.

Tab. 1: Untersuchte Wirkstoffe mit Verbrauch der untersuchten Arzneimittelwirkstoffe in Deutschland 2008 und 2003 (kursiv)

| | CAS-Nr. | Messzeit- raum | Summe der 2008 verschrieben DDD | DDD in g | Summe aus „vertragsärztlichen Verschreibungen“ 2008 in kg |
|--|----------------|-------------------|--|-------------|--|
| | | | <i>Summe DDD 2003</i> | | <i>Summe 2003 in kg</i> |
| Antihypertonika/Betarezeptoren- blocker | | | | | |
| Atenolol | 29122- 68-7 | 2000 → | 67.200.000 | 0,075 | 5.040 |
| | | | <i>105.000.000</i> | | <i>7.875</i> |
| Metoprolol | 37350- 58-6 | 2000 → | 846.800.000 | 0,15 | 127.020 |
| | | | <i>649.000.000</i> | | <i>97.350</i> |
| Sotalol | 3930-20- 9 | 2000 → | 41.700.000 | 0,16 | 6.672 |
| | | | <i>111.000.000</i> | | <i>17.760</i> |
| Antibiotika | | | | | |
| Azithromycin | 83905- 01-5 | 2005 → | 11.700.000 | 0,3 | 3.510 |
| | | | <i>7.700.000</i> | | <i>2.310</i> |
| Clarithromycin | 81103- 11-9 | 2000 → | 19.700.000 | 0,5 | 9.850 |
| | | | <i>11.100.000</i> | | <i>5.550</i> |
| Clindamycin | 18323- 44-9 | 2002 → | 6.400.000 | 1,2 | 7.680 |
| | | | <i>6.500.000</i> | | <i>7.800</i> |
| Erythromycin | 114-07-8 | 2000 → 2008 | 6.400.000 | 1 | 6.400 |
| | | | <i>7.900.000</i> | | <i>7.900</i> |
| Roxithromycin | 80214- 83-1 | 2000 → | 15.000.000 | 0,3 | 4.500 |
| | | | <i>21.300.000</i> | | <i>6.390</i> |

| | CAS-Nr. | Messzeit- raum | Summe der 2008 verschrieben DDD | DDD in g | Summe aus „vertragsärztlichen Verschreibungen“ 2008 in kg |
|--|------------|-------------------|--|-------------|--|
| Sulfamethoxazol | 723-46-6 | 2000 → | 18.700.000 | 2 | 37.400 |
| | | | 22.500.000 | | 45.000 |
| Acetyl-Sulfamethoxazol | 21312-10-7 | 2006 → | | | |
| Antiepileptikum | | | | | |
| Carbamazepin | 298-46-4 | 2000 → | 58.500.000 | 1 | 58.500 |
| | | | 68.900.000 | | 68.900 |
| 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin (Metabolit) | 58955-93-4 | 2007 → | | | |
| Primidon | 125-33-7 | 2006 → | 5.200.000 | 1,25 | 6.500 |
| | | | 4.500.000 | | 5.625 |
| 2-Ethyl-2-phenylmalonamid (Metabolit, „PEMA“) | 7206-76-0 | 2006 → | | | |
| Analgetikum | | | | | |
| Metamizol | 5907-38-0 | - | 101.400.000 | 3 | 304.200 |
| | | | 52.000.000 | | 156.000 |
| *N-Acetyl-4-aminoantipyrin (Metabolit) | 83-15-8 | 2001 → | | | |
| *N-Formyl-4-aminoantipyrin (Metabolit) | 1672-58-8 | | | | |
| Diuretikum | | | | | |
| Triamteren | 396-01-0 | 2002 → | 165.300.000 | 0,1 | 16.530 |
| | | | 261.000.000 | | 26.100 |

Arzneimittelwirkstoffe werden im menschlichen Körper sehr unterschiedlich aufgenommen, verteilt, umgewandelt und ausgeschieden. Die im Körper gebildeten Metaboliten sind häufig ebenfalls pharmakologisch wirksam. Zur besseren Elimination mit dem Urin werden z.T. gut wasserlösliche Konjugate der Wirkstoffe bzw. der Metaboliten wie z.B. Glucuronide oder Acetate gebildet.

Die Angaben zum Ausscheidungsverhalten sind Literatur [8] und [9] entnommen und in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Angaben zur Elimination von Arzneimittelwirkstoffen beim Menschen

| Arzneimittelwirkstoff | Eliminationsverhalten (nach Literatur [8] und [9]) |
|-----------------------|---|
| Atenolol | Nur geringe Metabolisierung; ca. 90 % werden innerhalb von 48 h unverändert renal ausgeschieden; 2 - 3 % liegen in Form des hydroxylierten Metaboliten vor |
| Metoprolol | Bei oraler Gabe < 5 % und bei intravenöser Gabe < 10 % unverändert ausgeschieden; Metoprolol wird in der Leber weitgehend metabolisiert |
| Sotalol | Sotalol wird nicht metabolisiert; Elimination ausschließlich über die Niere; innerhalb von 72 h können > 75 % einer Einzeldosis unverändert wiedergefunden werden |
| Azithromycin | In der Leber werden 35 % zu inaktiven Metaboliten umgesetzt; nach oraler Gabe erfolgt Ausscheidung hauptsächlich über die Galle, mit der mehr als 50 % unverändert eliminiert werden; ca. 6 % einer oralen Dosis werden renal ausgeschieden |
| Clarithromycin | Der Metabolit 14-Hydroxy-Clarithromycin ist pharmakologisch wirksam; renale Ausscheidung beträgt 20 - 40 % (unklar, ob sich Angabe auf Clarithromycin oder auf Summe incl. Metabolit bezieht) |
| Clindamycin | 10 % werden als aktive Substanz renal, ca. 4 % mit Fäzes ausgeschieden; von den Biotransformationsprodukten sind das N-Demethylderivat sowie Clindamycin-Sulfoxid pharmakologisch wirksam, andere Metaboliten dagegen unwirksam |
| Erythromycin | Wird in großem Umfang metabolisiert; 5 % einer Dosis werden unverändert renal ausgeschieden |
| Roxithromycin | Ausscheidung zu über 50 % in unveränderter Form; Metabolisierung v.a. durch Hydrolyse; Metaboliten: Descladinose-Roxithromycin, N-Monomethyl-Roxithromycin, N-Dimethyl-Roxithromycin; Ausscheidung der Substanzen zu 50 % über Fäzes, 13 % über Atemluft und 10 % im Urin |
| Sulfamethoxazol | 80 - 90 % einer Dosis werden innerhalb von 24h renal ausgeschieden, davon ca. ein Drittel in unveränderter Form (Konjugate: Acetylsulfamethoxazol, Glucuronid des Sulfamethoxazols) |
| Carbamazepin | 2 - 3 % einer Dosis werden unverändert ausgeschieden; Primärmetabolit ist Carbamazepin-10,11-epoxid (Ausscheidung ca. 1 % renal), Hauptmetabolit ist trans-10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin (Ausscheidung ca. 30 % renal) |
| Primidon | In der Leber Biotransformation zu den pharmakologisch wirksamen Metaboliten Phenobarbital (5 - 15 %) und PEMA; ca. 40 - 65 % einer Dosis werden unverändert renal ausgeschieden, 2,1% als Phenobarbital und 6,6 % als PEMA |
| Metamizol | Metamizol ist ein sog. „Prodrug“ und wird zum pharmakologisch aktiven 4-Methylaminoantipyrin umgesetzt; 85 - 95 % werden innerhalb von 4 Tagen in Form von Metaboliten (hauptsächlich 4-Aminoantipyrin, 4-Formylaminoantipyrin, 4-Acetylaminoantipyrin) renal ausgeschieden |
| Triamteren | Bei peroraler Gabe werden renal 3 - 7 % unverändert und 10 - 40 % als p-Hydroxytriamteren-schwefelsäureester ausgeschieden |

Mit den Angaben in Tabelle 2 lassen sich die absoluten Mengen an Arzneimittelwirkstoffen abschätzen, die – ausgehend von der Summe aus den vertragsärztlichen Verschreibungen – über den Abwasserpfad in die kommunalen Kläranlagen gelangt (Tabelle 3). Allerdings sind die Literaturangaben nicht immer vollständig und konsistent, so dass die Ausscheidungsraten als „Circa-Werte“ zu verstehen sind. In der Folge wurden die berechneten absoluten Mengen der Arzneimittelwirkstoffe bzw. deren Metaboliten gerundet.

Tab. 3: Berechnung der theoretisch in die Kläranlagen eingetragenen Arzneimittelwirkstoffmengen (auf Basis der vertragsärztlichen Verschreibungen 2008)

| | Summe aus „vertragsärztlichen Verschreibungen“ in kg | Ausscheidung des unveränderten Wirkstoffs in % | <i>absolute Menge in kg (gerundet)</i> |
|--|--|--|--|
| Antihypertonika Betarezeptorenblocker | | | |
| Atenolol | 5.040 | ca. 90 | 4.500 |
| Metoprolol | 127.020 | ca. 10 | 13.000 |
| Sotalol | 6.672 | ca. 90 | 6.000 |
| Antibiotika | | | |
| Azithromycin | 3.510 | ca. 50 | 2.000 |
| Clarithromycin | 9.850 | ca. 30 | 3.000 |
| Clindamycin | 7.680 | ca. 10 | 800 |
| Erythromycin | 6.400 | ca. 5 | 300 |
| Roxithromycin | 4.500 | ca. 60 | 3.000 |
| Sulfamethoxazol | 37.400 | ca. 30 | 12.000 |
| Antiepileptikum | | | |
| Carbamazepin | 58.500 | ca. 10 | 6.000 |
| 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin (Metabolit) | | ca. 30 | 18.000 |
| Primidon | 6.500 | ca. 50 | 3.000 |
| 2-Ethyl-2-phenylmalonamid (Metabolit, „PEMA“) | | ca. 7 | 600 |
| Analgetikum | | | |
| Metamizol | 304.200 | 0 | |
| *N-Acetyl-4-aminoantipyrin (Metabolit) | | ca. 25 | 75.000 |

| | Summe aus „vertragsärztlichen Verschreibungen“ in kg | Ausscheidung des unveränderten Wirkstoffs in % | absolute Menge in kg (gerundet) |
|--|--|--|---------------------------------|
| *N-Formyl-4-aminoantipyrin (Metabolit) | | ca. 15 | 45.000 |
| Diuretikum | | | |
| <i>Triamteren</i> | 16.530 | ca. 5 | 1.000 |

Neben den genannten Arzneimittelwirkstoffen wurde auch Coffein und der Coffein-Metabolit 1,7-Dimethylxanthin bestimmt.

Der Nachweis von Coffein gibt einen Hinweis auf den Abwasseranteil im Fließgewässer sowie auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen im jeweiligen Einzugsgebiet. Während bei Kläranlagen nach dem Stand der Technik Coffein-Konzentrationen im Ablauf im Bereich $< 0,1 \mu\text{g/l}$ liegen, deuten höhere Coffein-Konzentrationen auf aktuelle Störungen einer Anlage oder auf eine grundsätzlich schlechtere Reinigungsleistung hin.

3 Messstellen und Probenahme

Die Messstellenauswahl orientierte sich an folgenden Kriterien:

- große Gewässer mit großem Einzugsgebiet (Main, Donau, Isar) und bekannten Belastungen mit Arzneimittelwirkstoffen, die bereits über einen längeren Zeitraum untersucht werden
- kleinere Gewässer mit Abwassereinleitungen (Amper, Murn, Ebrach)
- Kläranlagenabläufe von Anlagen unterschiedlicher Größe
- geographische Nähe zu den Messstellen des bestehenden Messnetzes Deposition (gemeinsame Probenahmetour).

Die Probenahme erfolgte in der Regel zweimonatlich oder vierteljährlich in Form von Stichproben durch das LfU an den in Tabelle 4 aufgeführten Messstellen.

Die Proben wurden in 1l-Glasflaschen gefüllt, gekühlt transportiert und bis zur Analyse bei 4°C im Kühlschrank aufbewahrt.

Tab. 4: Beschreibung der Probenahmestellen der Fließgewässer und Kläranlagen

| Probenahmestelle | Abbildung | Seite |
|---|-----------|-------|
| Main bei Marktheidenfeld | 24 | 40 |
| Donau bei Bad Abbach | 25 | 41 |
| Isar bei Plattling | 26 | 42 |
| Amper bei Moosburg-Volksmannsdorferau vor Mündung in die Isar | 27 | 43 |
| Würm vor Mündung in die Amper | 28 | 44 |
| Ebrach bei Ebersberg | 29 | 45 |
| Murn bei Untermühle vor Mündung in den Inn | 30 | 46 |
| Kläranlage Geiselbullach | 31 | 47 |
| Kläranlage München 2, Dietersheim (Gut Marienhof) | 32 | 48 |

Für den Vergleich des Verhaltens von Arzneimittelwirkstoffen bzw. -metaboliten bei UV-Behandlung in Kläranlagen wurde zusätzlich die Kläranlage Starnberg einmal beprobt.

4 Analysenverfahren

4.1 Vorbemerkung

Das von 1999 - 2002 eingesetzte Massenspektrometer (Fa. Thermo, DUO, Ion-Trap-Technik) wurde bei den Analysen der Arzneimittel ab 2003 durch ein Quadrupol-MS/MS-Gerät (Fa. Thermo, TSQ Quantum) ersetzt. Nachdem dieses Gerät deutlich empfindlicher ist, konnte in der Probenvorbereitung mit kleineren Anreicherungsfaktoren gearbeitet und teilweise gemäß den Vorgaben der Richtlinie 96/23/EG [10] quantifiziert werden. Diese EG-Richtlinie beschreibt Anforderungen an die massenspektrometrischen Verfahren für bestimmte Rückstände in lebenden Tieren und tierischen Erzeugnissen, die jedoch auch auf andere LC-MS/MS-Untersuchungen übertragen werden können.

Die wesentlichen Kriterien sind:

- für den positiven Nachweis von organischen Kontaminanten werden bei der Verwendung von niedrig auflösenden Massenspektrometern (LC-LRMS = liquid chromatography-low resolution mass spectrometer) 4 sogenannte Identifizierungspunkte gefordert. Man erreicht dieses Kriterium mit der Messung eines Vorläufer-Ions und zwei Tochter-Ionen, für die weitere Bedingungen erfüllt sein müssen.
- die zulässigen Höchsttoleranzen der relativen Ionenintensitäten der Tochter-Ionen von Standard und Probe liegen bei $\pm 20\%$. Die Toleranz bei den Retentionszeiten der Analyten zwischen Kalibrierlösung und Probe liegt bei $\pm 2,5\%$.

Für den untersten Konzentrationsbereich der Arzneimittelwirkstoffe in Oberflächengewässern können die geforderten Kriterien aber nicht immer erfüllt werden. Seit 2007 wurden Analysen mit einem Hybrid Triple Quadrupol System (LC/MS/MS Applied Biosystems, Sciex 4000 QTrap) mit erneut höherer Empfindlichkeit durchgeführt. Die verbesserte Empfindlichkeit ermöglicht die Messungen bei Abwässern mittels direkter Injektion der wässrigen Probe (nach Ultrazentrifugation der Probe), sowie nach einer Anreicherung um den Faktor 50 bei schwach belasteten Proben. Auch mit dem neuen Triple Quadrupol System können die geforderten Kriterien bei Oberflächenwasserproben nicht immer erfüllt werden, so ist z.B. für Dimethyl-1,7-Xanthin nur ein Tochter-Ion für die Analyse verfügbar.

Neben den Gerätewechseln kam 2002 noch ein Umzug in ein anderes Laboratorium dazu, das z.B. zu einer Erhöhung der Coffein- und 1,7-Dimethylxanthinblindwerte bei der Anreicherung der Proben führte.

4.2 Probenvorbereitung

4.2.1 Extraktion

Oberflächenwasser, Kläranlageabläufe:

Bis 2007 wurden von jeder Probe 2 Ansätze gemacht.

Volumen (ml) bis 2007: 100 / 250 / 1000

Volumen ab 2007: 50 ml bei Fließgewässer; 1 ml bei Kläranlagenabläufen nach Ultrazentrifugation, keine Anreicherung!

Filtrieren: bei Bedarf über Glasfaserfilter = GF 6

Salzzugabe: 1 % (Gew.) NaCl p.a.

Interne Standards: Zugabe von Benzanilid, Carbamazepin-d₁₀, Sulfamethoxazol-¹³C₆, Sotalol-d₆ und Primidon-d₅ mit je 50µg/l pro Probe.

Festphase: SPE Column Chromabond Easy Polypropylen 20µm, 200 mg, 6 ml, Macherey-Nagel

$V_{\text{Extraktion}} = 3 \text{ ml/min}$

Nach der Extraktion wird die Festphasenkartusche mit N₂ bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

4.2.2 Elution

Für die Elution der verschiedenen Stoffgruppen wurden zwei Elutionsverfahren entwickelt.

Methode 1:

Neutrale Elution: 4 ml Acetonitril (Lichrosolv, Merck) plus 2 x 3 ml Methanol (HPLC, Baker)

Allgemein bessere Ausbeute der Antibiotika, wesentlich bessere Ausbeuten des säureempfindlichen Erythromycins (Erythromycin zeigt schnelle Metabolisierung bei pH < 7).

Methode 2:

Saure Elution: 2 x 4 ml Methanol (HPCL, Baker, 1,5% Essigsäure)

Deutlich bessere Ausbeute der Betablocker, teilweise starke Umwandlung von Erythromycin zu Dihydrato-Erythromycin.

Trocknung der Eluate mit N₂.

Nach Aufnahme in 1,5 ml Vials mit Methanol / Wasser (10 / 90) wurden die Extrakte zur Messung gebracht

4.3 Hochdruckflüssigkeitschromatographie-Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS)

Beim HPLC-MS/MS-System (LC: Surveyor, MS: TSQ Quantum) von Fa. Thermo Finnigan. kamen folgende LC-Bedingungen (2003-2007) zum Einsatz:

Surveyor Autosampler: Injektionsvolumen (µl): 2 – 20µl

Ofentemperatur: 12 C°

Surveyor LC Pump: Low pressure method

| Zeit (min) | Flussrate (mL/min) | A (%) | B (%) |
|------------|--------------------|-------|-------|
| 0.00 | 0.200 | 15.0 | 85.0 |
| 30.00 | 0.200 | 90.0 | 10.0 |
| 35.00 | 0.200 | 90.0 | 10.0 |
| 38.00 | 0.200 | 15.0 | 85.0 |
| 45.00 | 0.200 | 15.0 | 85.0 |

Laufmittel:

A: Methanol, 5 % Wasser, + 0,1% Ameisensäure; B: Wasser, 5% Methanol + 0,1 % Ameisensäure

Druck: Min. – Max. = 2 – 20 (MPa)

Methode für Surveyor Diodenarraydetektor: Laufzeit 45.00 min., Wellenlängenbereich 200-400 nm

4.4 Methode für massenspektrometrische Detektion

MS Aufnahmezeit (min): 45.00

Die verwendeten Massenspektrometer wurden gerätespezifisch mit unterschiedlichen Einstellungen betrieben. Auf eine detaillierte Beschreibung der Parameterlisten wird an dieser Stelle verzichtet.

Abbildung 1 und 2 zeigen zwei Teilchromatogramme eines Arzneimittelstandards aufgenommen mit HPLC-MS/MS (TSQ Quantum) Die jeweils registrierten Massenübergänge sind der Legende zu entnehmen.

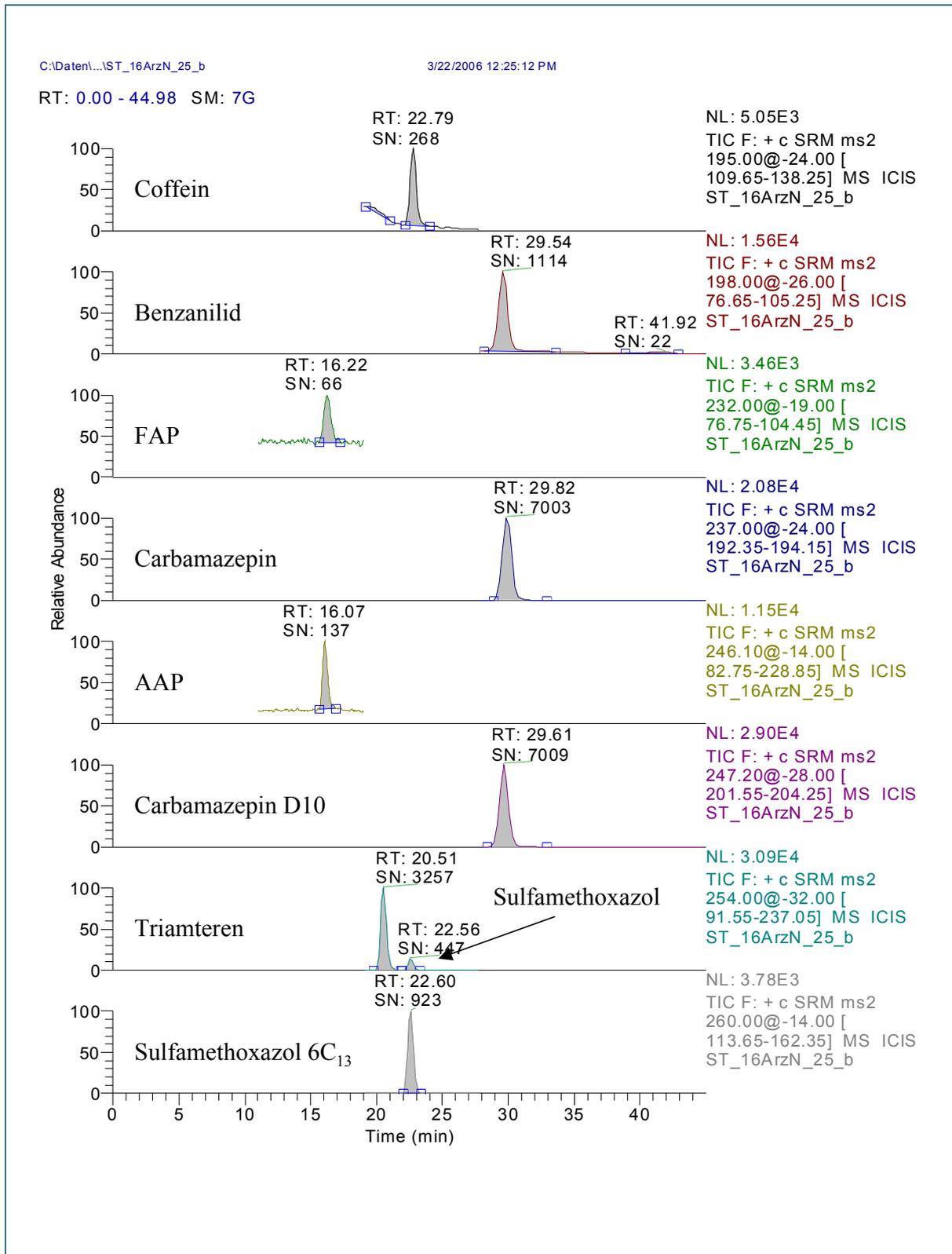


Abb. 1: Chromatogramm (TIC) der Tochterionen Teil 1

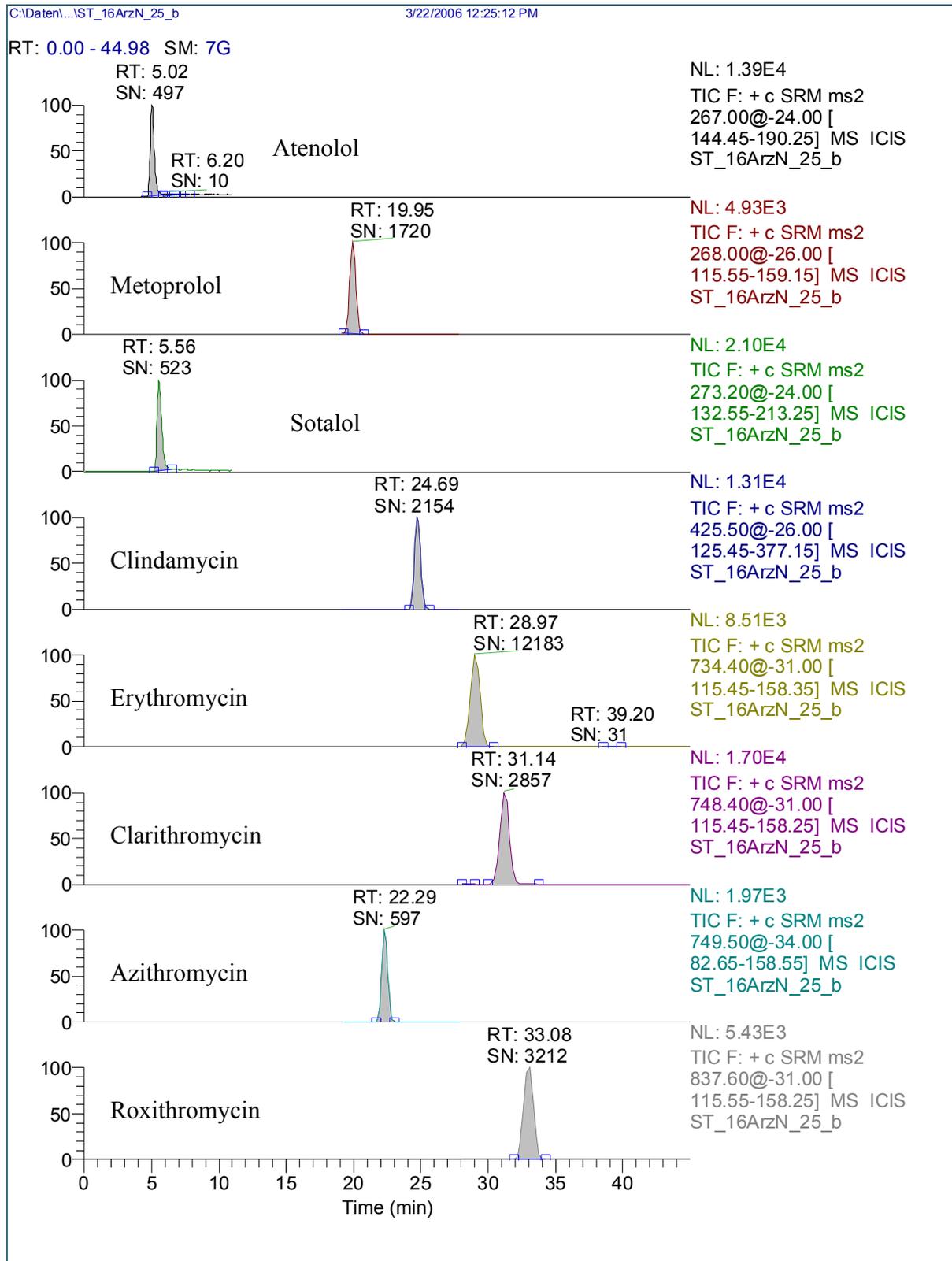


Abb. 2: Chromatogramm (TIC) der Tochterionen Teil 2

5 Ergebnisse

5.1 Fließgewässer

5.1.1 Vorbemerkungen

Der Primärmetabolit des Carbamazepins, Carbamazepin-10,11-epoxid (Ausscheidung ca 1 % renal), wurde in früheren Untersuchungen in einem relativ stabilen Verhältnis von 1:6 zu Carbamazepin gefunden [1]. Aus diesem Grund wurde dieser Metabolit nicht weiter untersucht, sondern dessen Umwandlungsprodukt 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin in den Untersuchungsumfang aufgenommen.

Für den Nachweis des säureempfindlichen Antibiotikums Erythromycin wurde bei der Extraktion grundsätzlich ein gesondertes Probenvorbereitungsverfahren eingesetzt. Nach den rückläufigen Verordnungen des Antibiotikums [6] wurde das Verfahren für Fließgewässer ab Mitte 2008 nicht mehr angewendet.

Die Anwesenheit von Coffein und eines seiner Metaboliten, Dimethyl-1,7-Xanthin, weisen auf den Einfluss von menschlichem Abwasser auf Oberflächengewässer hin [1]. Die Analytik von Coffein und seines Metaboliten wird allerdings häufig von Laborblindwerten gestört, die nicht immer exakt von den Messwerten abgezogen werden können. Aus diesem Grund sind die Coffein- und Dimethyl-1,7-Xanthinwerte *kursiv* in den Tabellen im Anhang aufgeführt.

Bei der Probenahme der Fließgewässer wurden jeweils Stichproben gewonnen. Probenahmen in Extremsituationen (z.B. akutes Hochwasser) wurden vermieden. In Abhängigkeit vom Abfluss am Tag der Probenahme sind naturgemäß Schwankungen der gemessenen Konzentrationen zu erwarten. Die Schwankungsbreiten sind allerdings nicht so groß, dass eine Korrektur zu verbesserten Trendaussagen im langjährigen Monitoring führen würden.

5.1.2 Betarezeptorenblocker

Für die β_1 -selektiven Betarezeptorenblocker Metoprolol und Atenolol, die v. a. auf Herz und Niere wirken, sowie den nichtselektiven Betarezeptorenblocker Sotalol liegen zum Teil über einen Zeitraum von 9 Jahren Daten vor (z.B. Main bei Marktheidenfeld, s. Abb. 3).

Bei den verordneten Tagesdosen dieser Arzneimittelwirkstoffe sind deutliche Trends erkennbar – während die Verordnungen für Metoprolol in den Jahren 2003-2008 um 30% zunahmen, waren sie für Atenolol um ein Drittel und für Sotalol sogar um über 60 % geringer (s. Tab. 1). Diese Veränderungen bei den verordneten Tagesdosen bilden sich in den gefundenen Konzentrationen in den verschiedenen Fließgewässern deutlich ab.

Metoprolol stellt mit Konzentrationen von bis zu 200 ng/l im Main bei Marktheidenfeld einen der mengenmäßig bedeutendsten Arzneimittelwirkstoffe in Fließgewässern dar. Bei den drei letzten Probenahmen im Jahr 2008 wurde konstant Metoprolol-Konzentrationen ≥ 150 ng/l festgestellt.

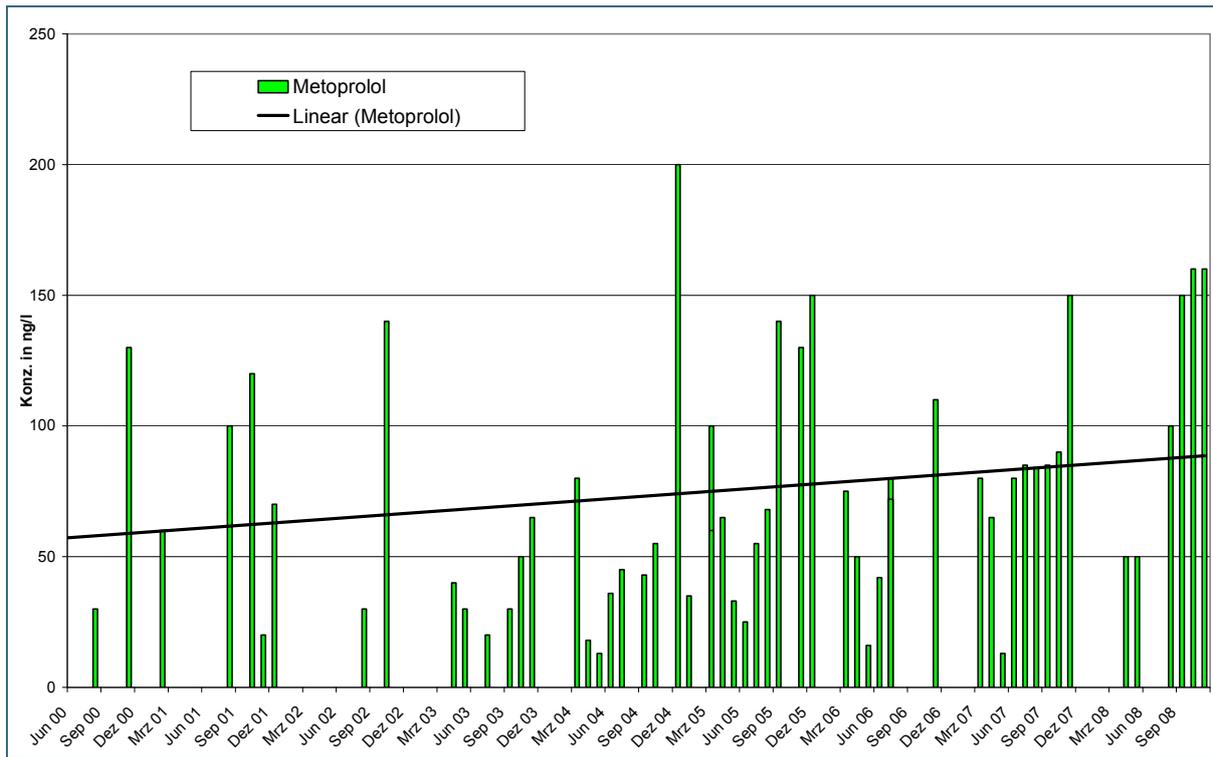


Abb. 3: Metoprolol im Main bei Marktheidenfeld

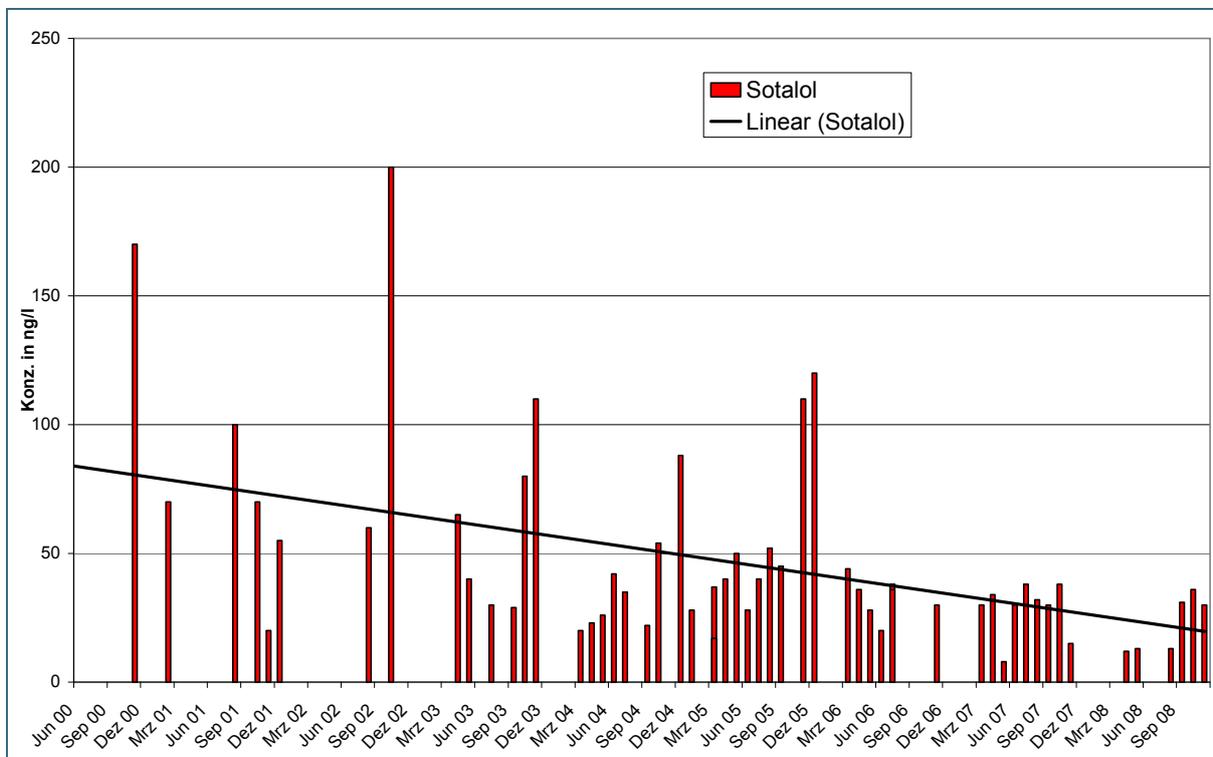


Abb. 4: Sotalol im Main bei Marktheidenfeld

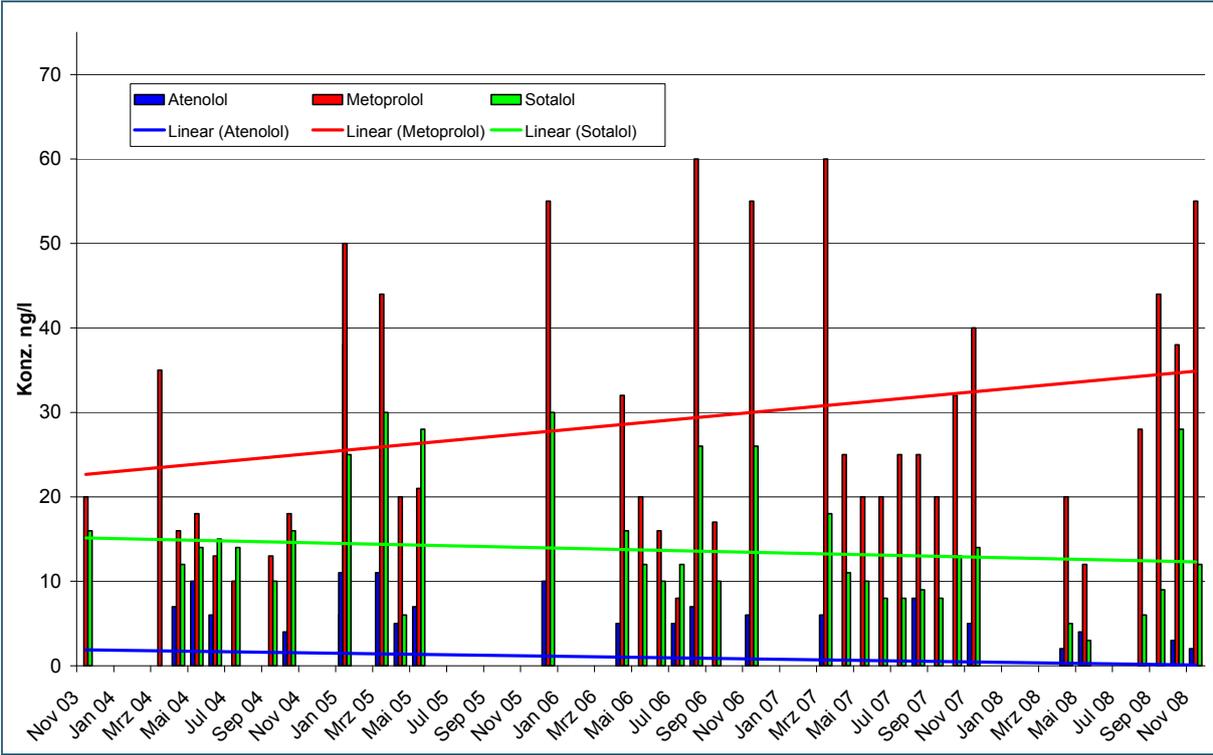


Abb. 5: Betarezeptorenblocker mit linearem Trend in der Donau bei Bad Abbach

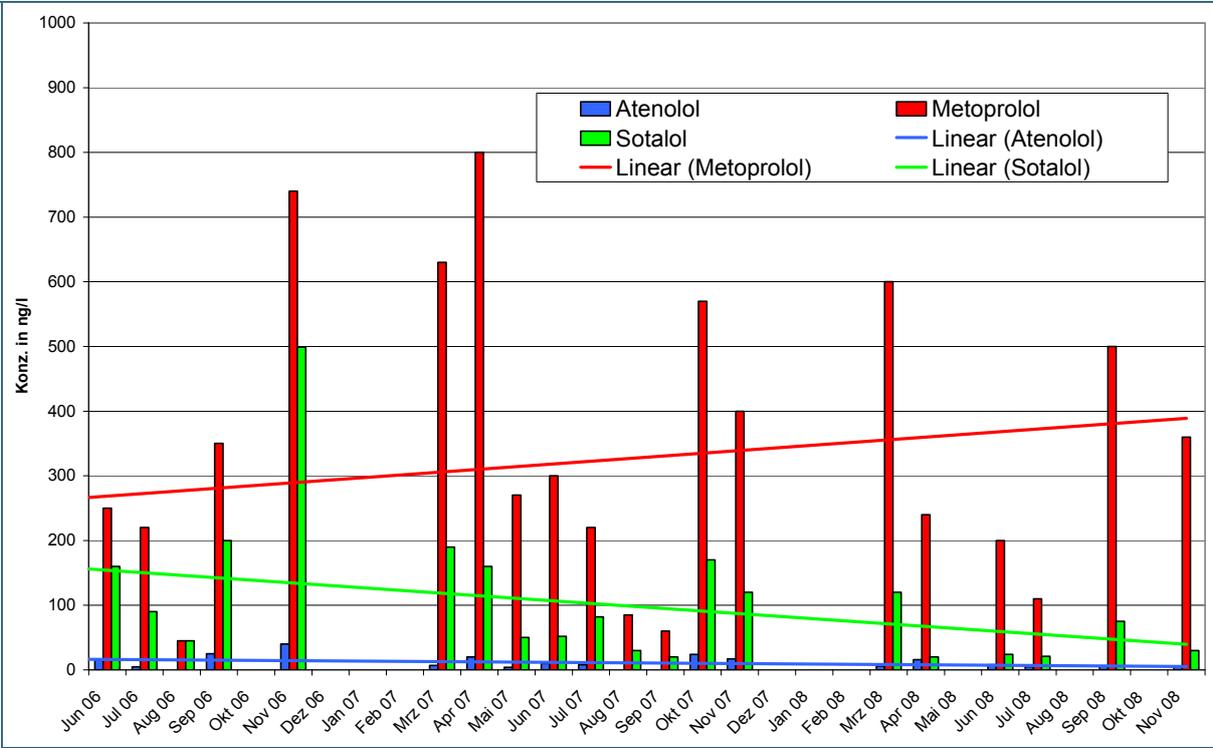


Abb. 6: Betarezeptorenblocker mit linearem Trend in der Ebrach

Auch in den anderen Fließgewässern wie der Donau bei Bad Abbach zeigen die Konzentrationen der Betablocker ein vergleichbares Verhalten (s. Abb. 5). Dies gilt unabhängig von der Größe der Fließgewässer, wie die Ergebnisse für die Ebrach als ein kleines Fließgewässer mit hohem Abwasseranteil zeigen (s. Abb. 6)

Ein Vergleich der Mediane der Betablockerkonzentrationen ergibt, dass bei den großen Fließgewässern der Main am höchsten belastet ist (s. Abb. 7). Dies spiegelt den grundsätzlich geringeren Abfluss je Einwohner im Einzugsgebiet gegenüber Donau oder Isar wider.

Durch die Probenahmestelle kurz unterhalb der Kläranlage Ebersberg zeigt die Ebrach die absolut höchsten Mediane. Die vergleichsweise höheren Mediane in der Würm vor der Mündung in die Amper lassen auf einen Einfluss der Kläranlage Dachau schließen.

Der Vergleich der Mediane belegt, dass die Auswahl der Probenahmestellen bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse immer berücksichtigt werden muss.

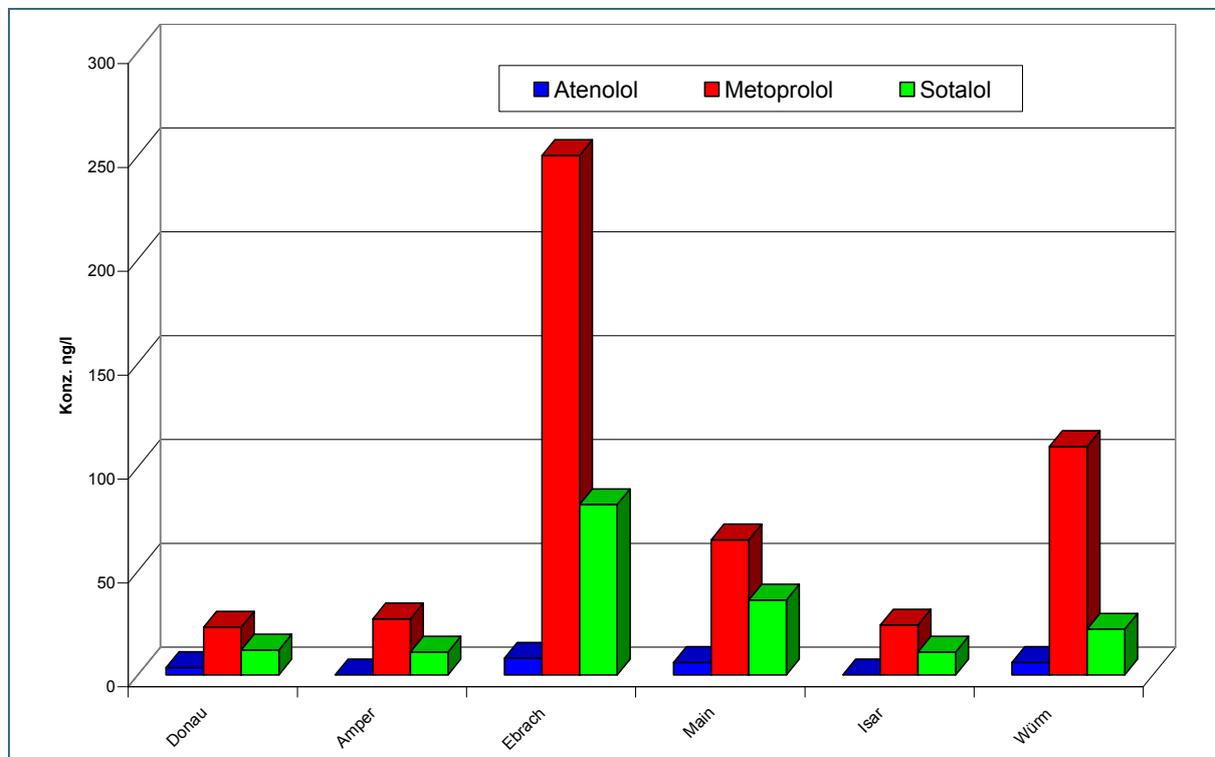


Abb. 7: Vergleich der Mediane der Betarezeptorenblockerkonzentrationen in Fließgewässern

5.1.3 Antibiotika

Aus der Vielzahl der Antibiotika wurden 5 Vertreter aus der Gruppe der sog. Makrolidantibiotika sowie das Sulfonamidantibiotikum Sulfamethoxazol und dessen Primärmetabolit Acetyl-Sulfamethoxazol genauer betrachtet.

Die Verordnungsmengen der Wirkstoffe Azithromycin, Clindamycin, Clarithromycin und Roxithromycin stiegen bis 2008 leicht an, während Erythromycin in diesem Zeitraum weniger verordnet wurde.

Für die Makrolidantibiotika lassen sich die Trends der Verordnungen nicht durch die Messungen in Fließgewässern bestätigen. Die höchsten Konzentrationen werden meist für Clarithromycin gefunden. In Donau und Isar treten die Makrolidantibiotika allerdings nur manchmal im Konzentrationen > Bestimmungsgrenze auf. Die Verteilung der Makrolidantibiotika an der Messstelle Ebrach zeigt beispielhaft Abb. 8.

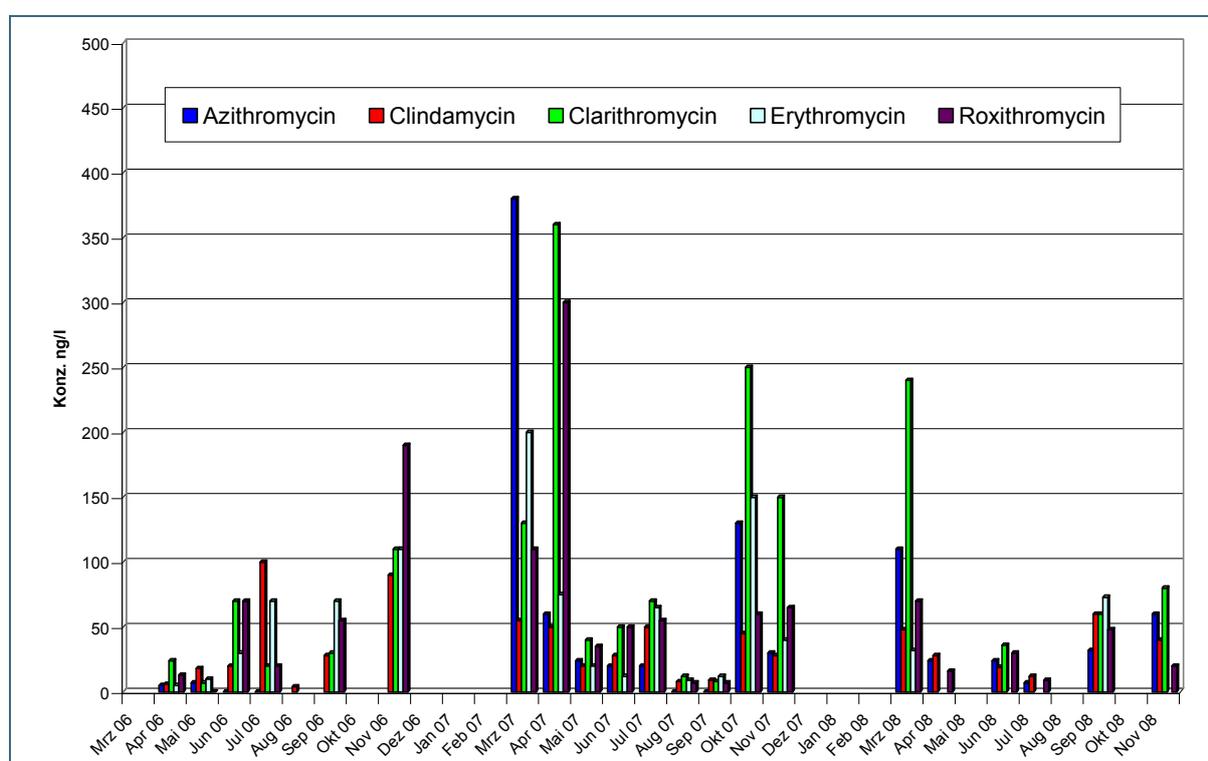


Abb. 8: Vergleich von Makrolidantibiotika in der Ebrach

Vergleicht man theoretisch die in die Kläranlagen gelangenden Mengen der untersuchten Makrolidantibiotika mit den Medianwerten im Gewässer, so findet man – auch auf Grund der relativ hohen Streuung der Messergebnisse – keinen eindeutigen Zusammenhang (s. Tab. 3).

Tab. 5: Vergleich der theoretisch in die Kläranlagen eingetragenen Antibiotikamengen* mit den Konzentrationen (Mediane) in der Ebrach

| Makrolidantibiotikum | relevante Menge in kg bundesweit | Mediane der gemessenen Konzentration in ng/l |
|----------------------|----------------------------------|--|
| Roxithromycin | 3.000 | 49 |
| Clarithromycin | 3.000 | 60 |
| Azithromycin | 2.000 | 24 |
| Clindamycin | 800 | 28 |
| Erythromycin | 300 | 36 |

* = auf Basis der vertragsärztlichen Verschreibungen 2008

Die gefundenen Werte für z.B. Erythromycin liegen im Verhältnis zu den Verbrauchsmengen der verschiedenen untersuchten Antibiotika deutlich zu hoch, möglicherweise liegt hier ein besonderer Einfluss eines Krankenhauses im Einzugsgebiet der Kläranlage vor. Die Unterschiede sind auch nicht auf ein unterschiedliches Verhalten bei der Abwasserreinigung zurückzuführen, da erfahrungsgemäß alle Makrolid-Antibiotika in Kläranlagen schlecht eliminiert werden.

Beim Sulfonamidantibiotikum Sulfamethoxazol, das meist in Kombinationspräparaten zusammen mit Trimethoprim eingesetzt wird, sind die Verschreibungsmengen in den letzten Jahren leicht rückläufig.

Ab 2007 wurde auch der Hauptmetabolit Acetyl-Sulfamethoxazol mit bestimmt. Acetyl-Sulfamethoxazol wird in den Kläranlagen durch Abspaltung der Acetylgruppe zum allergrößten Teil wieder in Sulfamethoxazol zurück gebildet, so dass der Metabolit in Kläranlagenabläufen häufig nicht mehr nachweisbar ist. Die Befunde für Acetyl-Sulfamethoxazol in Fließgewässern lassen sich daher nicht allein dieser Quelle zuordnen, möglicherweise kommt es in Fließgewässern auch zu einer erneuten Acetylierung von Sulfamethoxazol. Es ist auch möglich, dass Acetyl-Sulfamethoxazol über Mischwassersysteme [11] oder diffuse Quellen in Fließgewässer eingetragen wird.

Der leicht abnehmende Trend bei den Verordnungen findet sich in den gemessenen Konzentrationen aller untersuchten Fließgewässer wieder (s Abb. 9 und 10).

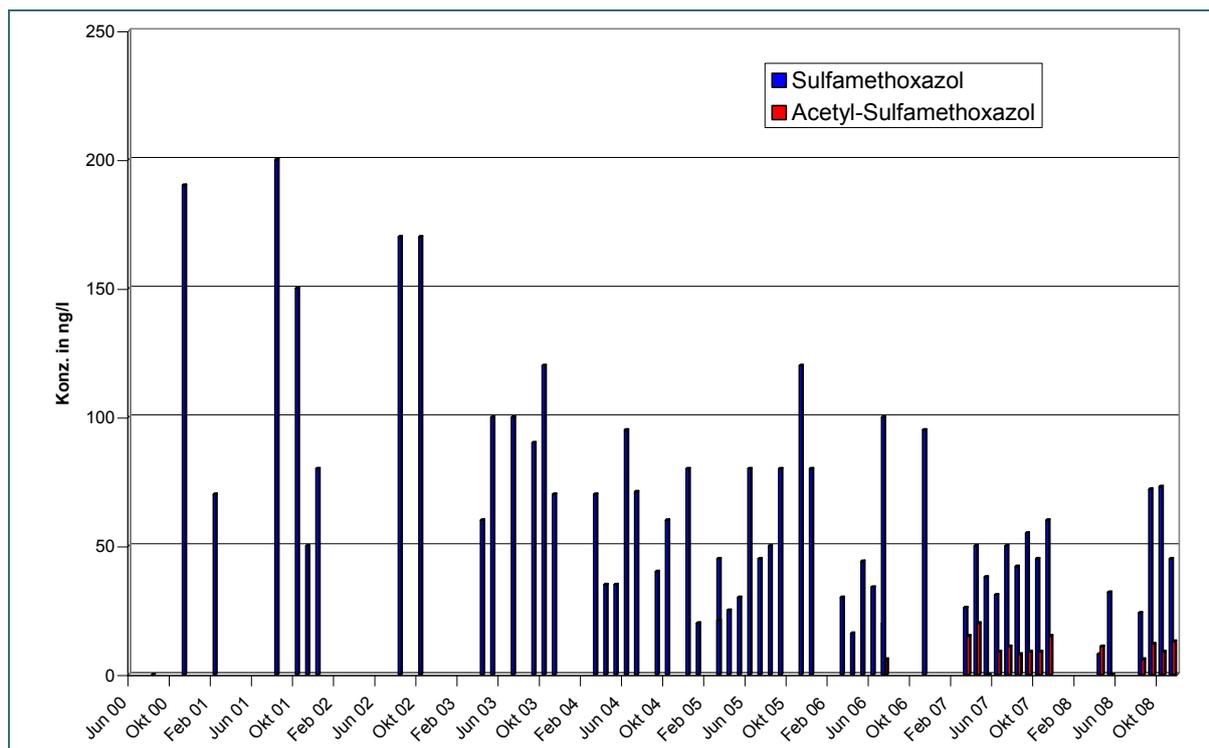


Abb. 9: Sulfamethoxazol und Hauptmetabolit im Main bei Marktheidenfeld

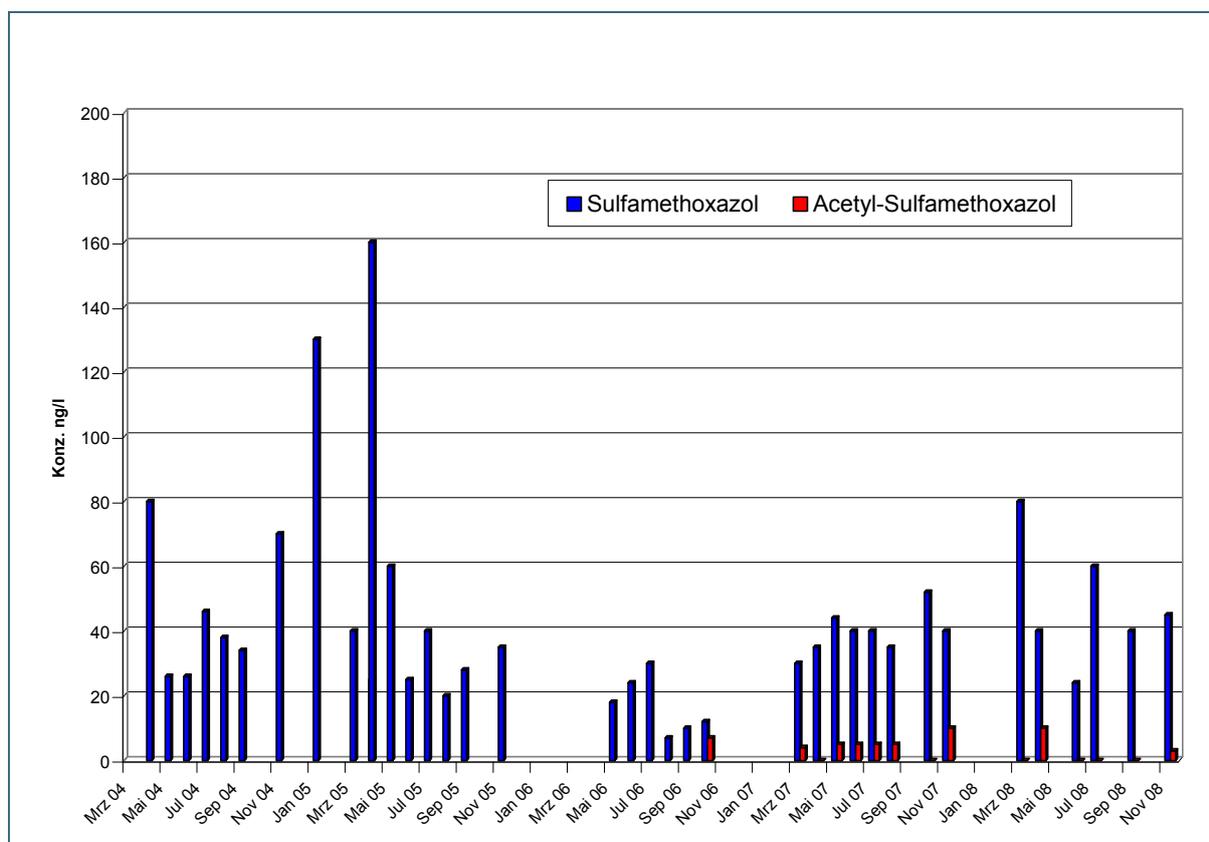


Abb. 10: Sulfamethoxazol und Hauptmetabolit in der Würm vor Mündung in die Ampere

5.1.4 Antiepilektika

Die Verordnungsmenge des Antiepileptiums Carbamazepin (Untersuchungen bereits ab 1999) war in den letzten Jahren leicht rückläufig. Carbamazepin ist mit einem Jahresverbrauch von rd. 60 Tonnen einer der mengenmäßig bedeutendsten Arzneimittelwirkstoffe, der in allen aquatischen Kompartimenten bis hin zum Trinkwasser immer wieder nachgewiesen wurde.

Der seit 2007 mit analysierte Metabolit 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin wird meist in etwa doppelt so hohen Konzentrationen im Vergleich zu Carbamazepin gefunden. Da der Primärmetabolit Carbamazepin-10,11-epoxid in Fließgewässern in deutlich geringerer Menge vorhanden ist [1], kann von einer raschen Hydrolyse des Epoxids zum Diol ausgegangen werden.

Während die Konzentrationsspitzen von Carbamazepin in Main und Donau bereits zurückgegangen sind, zeigen die langjährigen Werte im Vergleich noch keinen signifikanten Trend (s. Abb. 11 und 12). Das Auftreten des Hauptmetabolits 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin, der bei vielen Untersuchungen nicht mit berücksichtigt wurde, zeigt, dass stabile Arzneimittelmetaboliten bei der Umweltbewertung von Wirkstoffen nicht vernachlässigt werden dürfen.

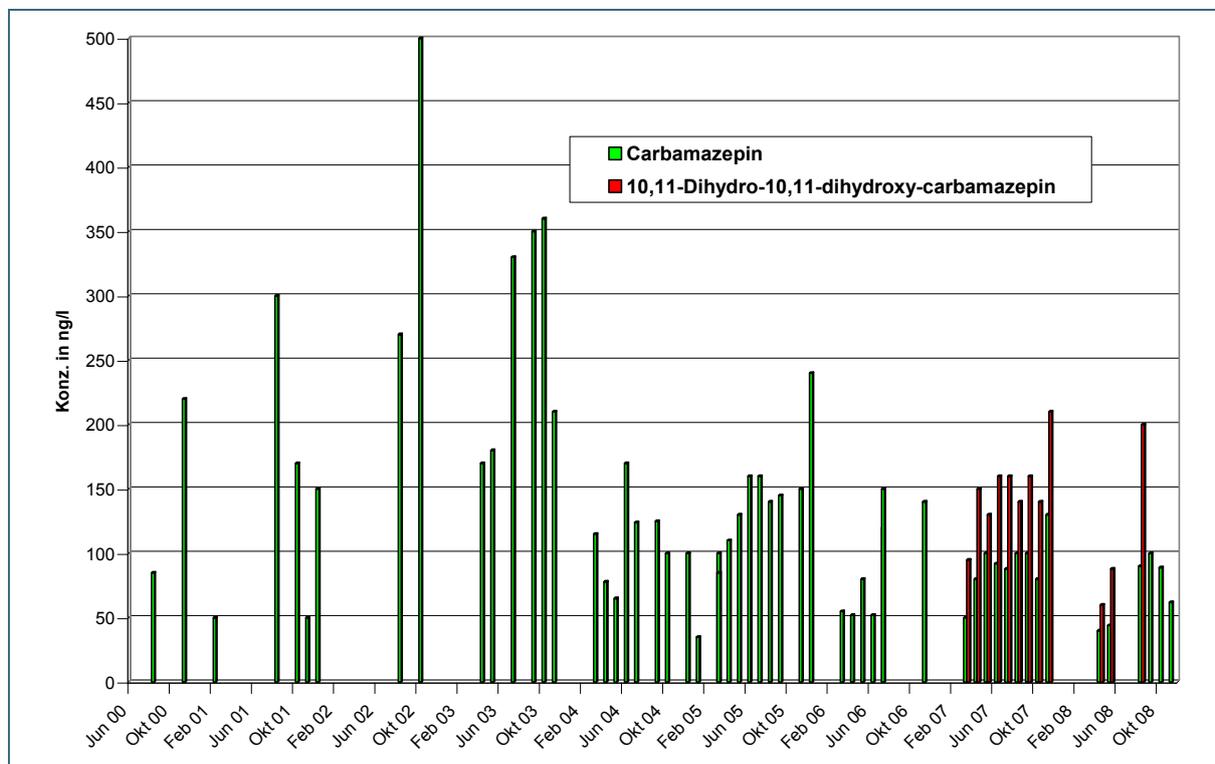


Abb. 11: Carbamazepin und Hauptmetabolit im Main bei Marktheidenfeld

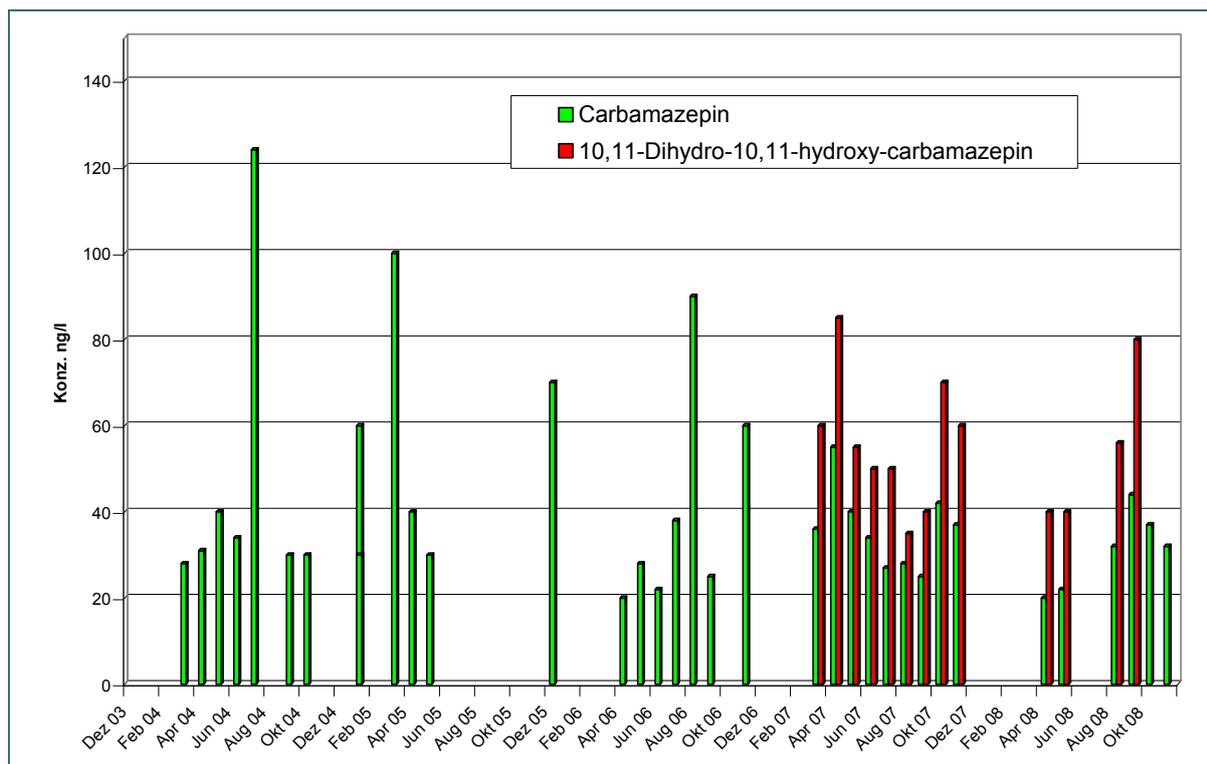


Abb. 12: Carbamazepin und Hauptmetabolit in der Donau bei Bad Abbach

Seit Mitte 2006 wurde der Wirkstoff Primidon aus der Gruppe der Barbiturate als zweites Antiepileptikum sowie der Metabolit 2-Ethyl-2-phenylmalonamid („PEMA“) in das Messprogramm aufgenommen. Die Verordnungsmengen von Primidon erreichen zwar nur rund ein Zehntel der verordneten Carbamazepinmenge, es kann aber dennoch in allen Fließgewässern nachgewiesen werden.

Primidon und der Metabolit 2-Ethyl-2-phenylmalonamid treten in einem sehr stabilen Verhältnis auf, wobei im Gegensatz zu Carbamazepin hier die Ausgangssubstanz überwiegt.

Die Verordnungsmengen für Primidon sind in den letzten Jahren leicht angestiegen. Dies lässt sich im relativ kurzen Untersuchungszeitraum bislang in keinem Fließgewässer als Trend nachvollziehen (s. Abb. 13 und 14).

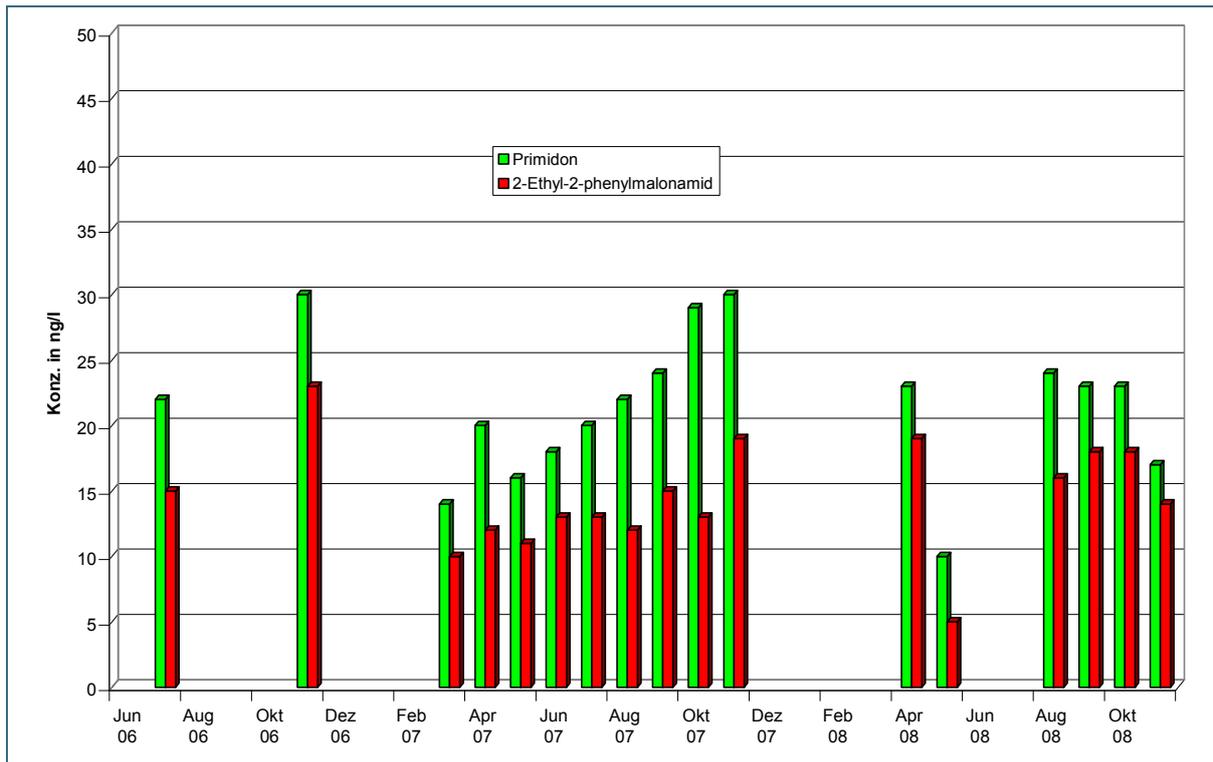


Abb. 13: Primidon und Hauptmetabolit im Main bei Marktheidenfeld

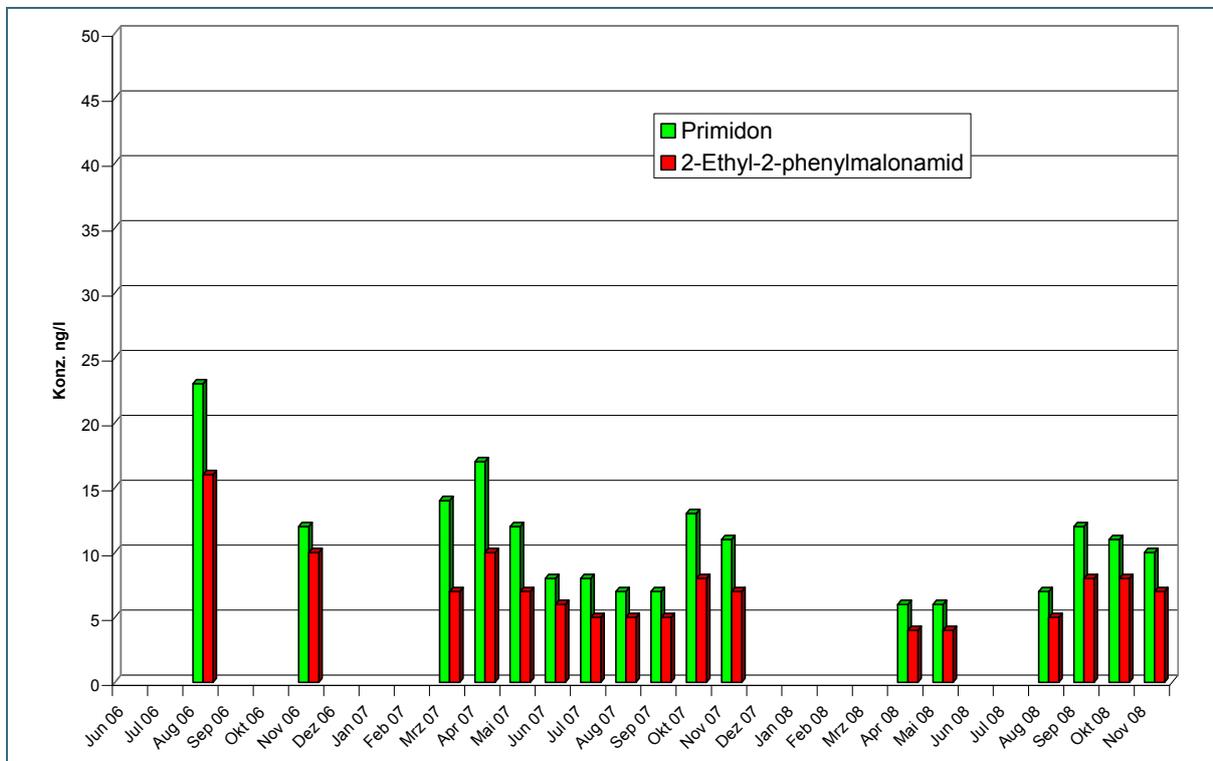


Abb. 14: Primidon und Hauptmetabolit in der Donau bei Bad Abbach

Die Verhältnisse zwischen Ausgangsstoff und Metabolit ändern sich auch in den kleineren Fließgewässern kaum, wie der Vergleich der Mediane der Antiepilektika und ihrer Metaboliten zeigt. Somit können sichere Aussagen über das Vorhandensein der Metaboliten in Fließgewässern auch dann gemacht werden, wenn nur die Ausgangssubstanzen analysiert werden.

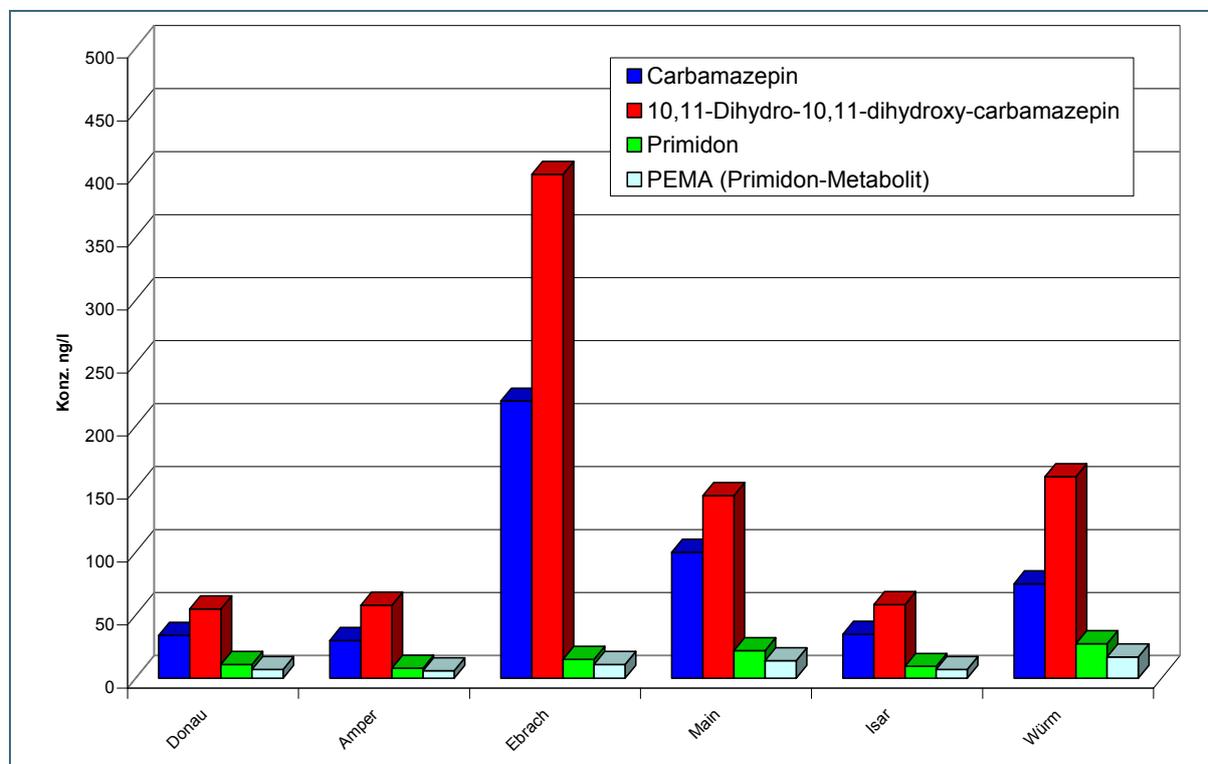


Abb. 15: Vergleich der Mediane der Antiepileptikakonzentrationen in Fließgewässern

5.1.5 Metamizol-Metaboliten

Die verschriebenen Mengen des Schmerzmittels Metamizol haben sich 2008 gegenüber 2003 fast verdoppelt. Da Metamizol im menschlichen Körper vollständig umgewandelt wird, können in Fließgewässern nur noch die beiden Metaboliten 4-Acetylamino-phenazon und 4-Formylamino-phenazon nachgewiesen werden.

Auf das Verhalten der Metamizolmetaboliten wurde schon im LfU-Bericht 2003 [1] ausführlich eingegangen. So wurde in Fließgewässern ein stabiles Verhältnis von 4-Acetylamino-phenazon zu 4-Formylamino-phenazon von 2,7:1 ermittelt. Der aktuelle gegenüber 2003 deutlich höhere Verbrauch an Metamizol lässt sich aus den Fließgewässerkonzentrationen der Metaboliten nicht nachvollziehen (s. Main in Abb. 16). Hier lagen z.B. die Höchstkonzentrationen im Jahr 2008 für 4-Acetylamino-phenazon bei 310 ng/l und für 4-Formylamino-phenazon bei 200 ng/l und damit z. T. unterhalb der Höchstkonzentrationen der vergangenen Jahre.

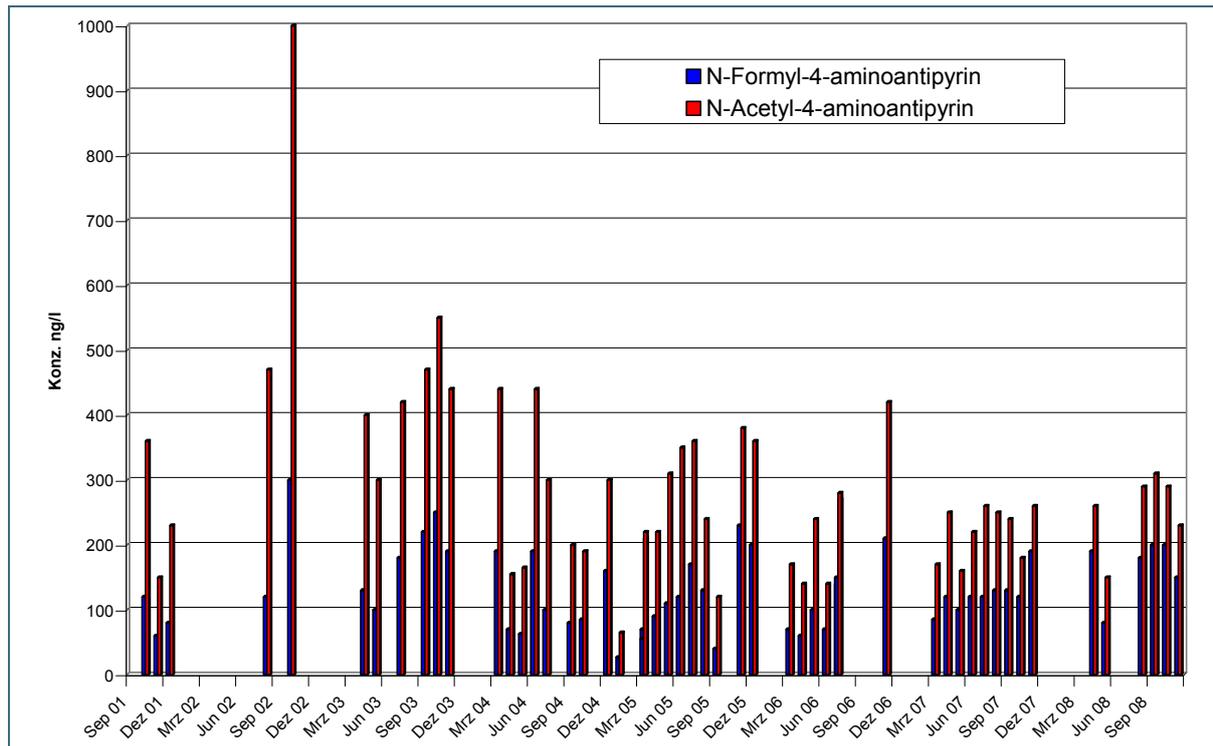


Abb. 16: Metamizolmetaboliten im Main bei Marktheidenfeld

5.2 Kläranlagenabläufe

5.2.1 Betarezeptorenblocker

In beiden untersuchten Kläranlagen (s. Abb. 17 und 18) lässt sich im Gegensatz zu den Fließgewässern keine steigende Tendenz der Metoprolol-Konzentrationen erkennen. Eine Erklärung für diese unerwarteten Befunde konnte bisher nicht gefunden werden.

Bemerkenswert sind die deutlich höheren Konzentrationen von Metoprolol und vor allem des nichtselektiven Betarezeptorenblockers Sotalol in der Kläranlage Geiselbullach, obwohl die Kläranlage Geiselbullach 250000 Einwohnergleichwerte ohne Einfluss von Krankenhausabwässern verarbeitet, während die Kläranlage München 2 mit ca. 700000 Einwohnergleichwerten auch einige große Kliniken im Einzugsgebiet hat. Möglicherweise gibt es Unterschiede im Verschreibungsverhalten im jeweiligen Einzugsgebiet.

Unabhängig von den absoluten Konzentrationen zeigt die Tendenz für Sotalol in der Kläranlage Geiselbullach gemäß den bundesweiten Verordnungszahlen – wenn auch auf einem hohen Niveau – nach unten. Auch in der Kläranlage München 2 nehmen die Sotalolkonzentrationen über die Jahre tendenziell leicht ab. Für Atenolol sind keine signifikanten Trends erkennbar.

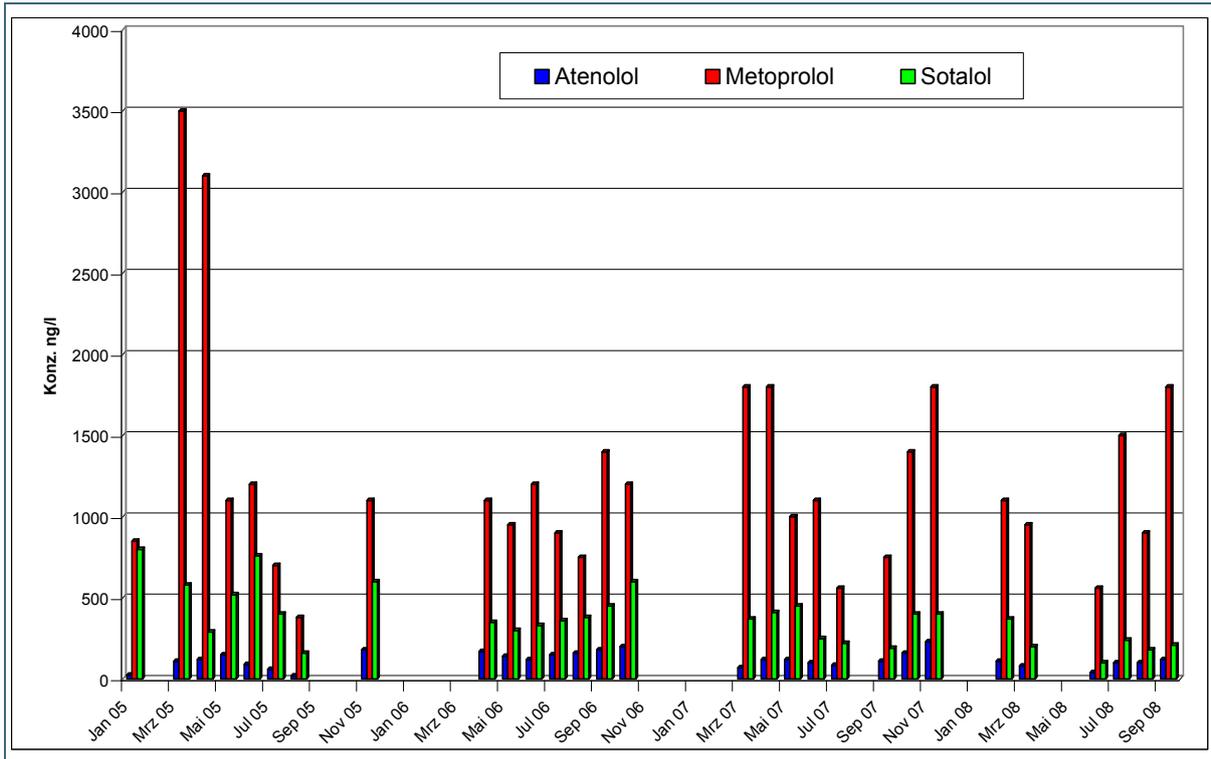


Abb. 17: Betarezeptorenblocker im Ablauf der Kläranlage München 2

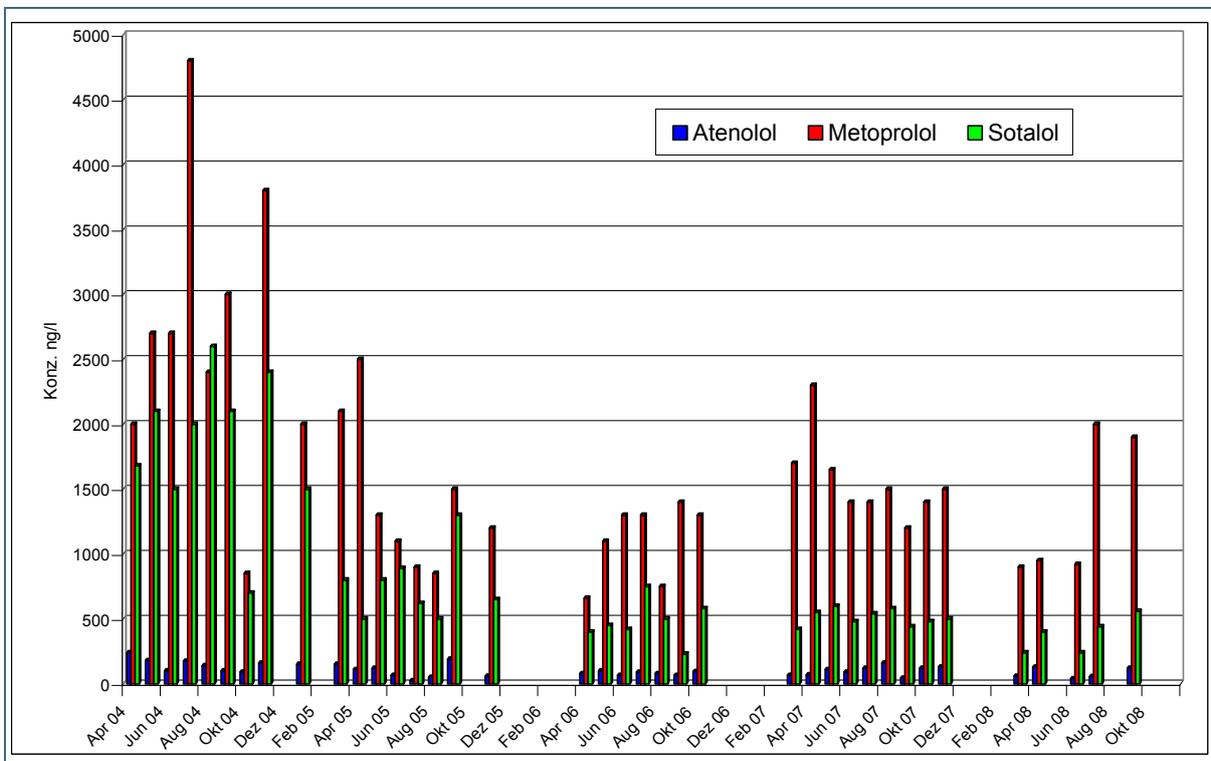


Abb. 18: Betarezeptorenblocker im Ablauf der Kläranlage Geiselbullach

5.2.2 Antibiotika

Bei der Indikationsgruppe der Antibiotika erreicht im Gegensatz zur Situation bei den Betarezeptorenblockern die städtische Kläranlage München 2 höhere Konzentrationen (berechnet als Mediane) als die kleinere Anlage in Geiselbullach ohne Kliniken im Einzugsgebiet (s. Abb. 19).

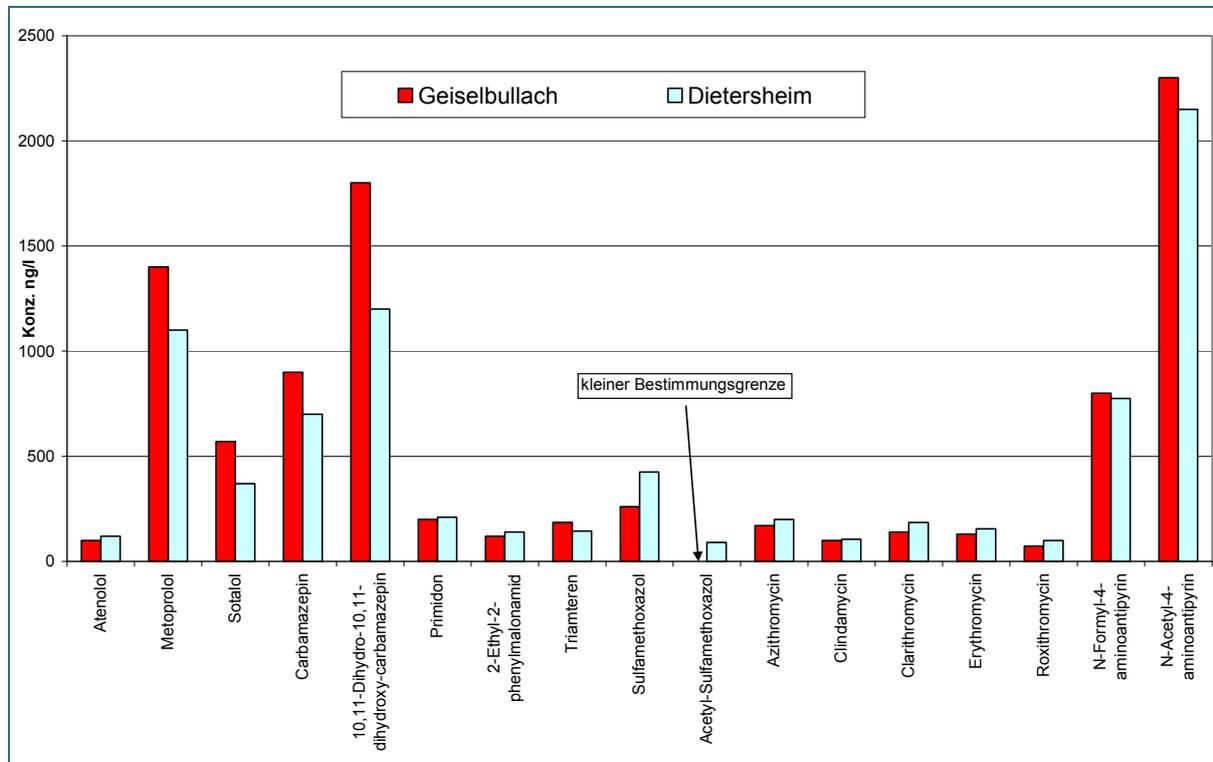


Abb. 19: Mediane der Arzneimittelkonzentrationen in zwei Kläranlagenabläufen

Der größte Unterschied bei den Konzentrationen wird bei Sulfamethoxazol und seinem Hauptmetaboliten Acetyl-Sulfamethoxazol gefunden. Eine Tendenz für die sinkende Anzahl der Verordnungen dieses Antibiotikums kann in den Kläranlagen nicht abgelesen werden (s. Abb. 20).

Acetyl-Sulfamethoxazol wird in Kläranlagen nach dem Stand der Technik fast völlig zu Sulfamethoxazol, so dass in Kläranlagenabläufen – wenn überhaupt – nur geringe Konzentrationen gemessen werden können (s. Abb. 20).

Wie bei den Fließgewässern werden auch in Kläranlagenabläufen die Makrolid-Antibiotika in ähnlichen Konzentrationen gefunden. Dies weist wiederum darauf hin, dass die Berechnung der theoretisch in die Kläranlagen eingetragenen Wirkstoffmengen, die auf Literaturwerte für Ausscheidungsraten nach bestimmungsgemäßem Gebrauch der Arzneimittel aufbauen, nicht der Realität entsprechen.

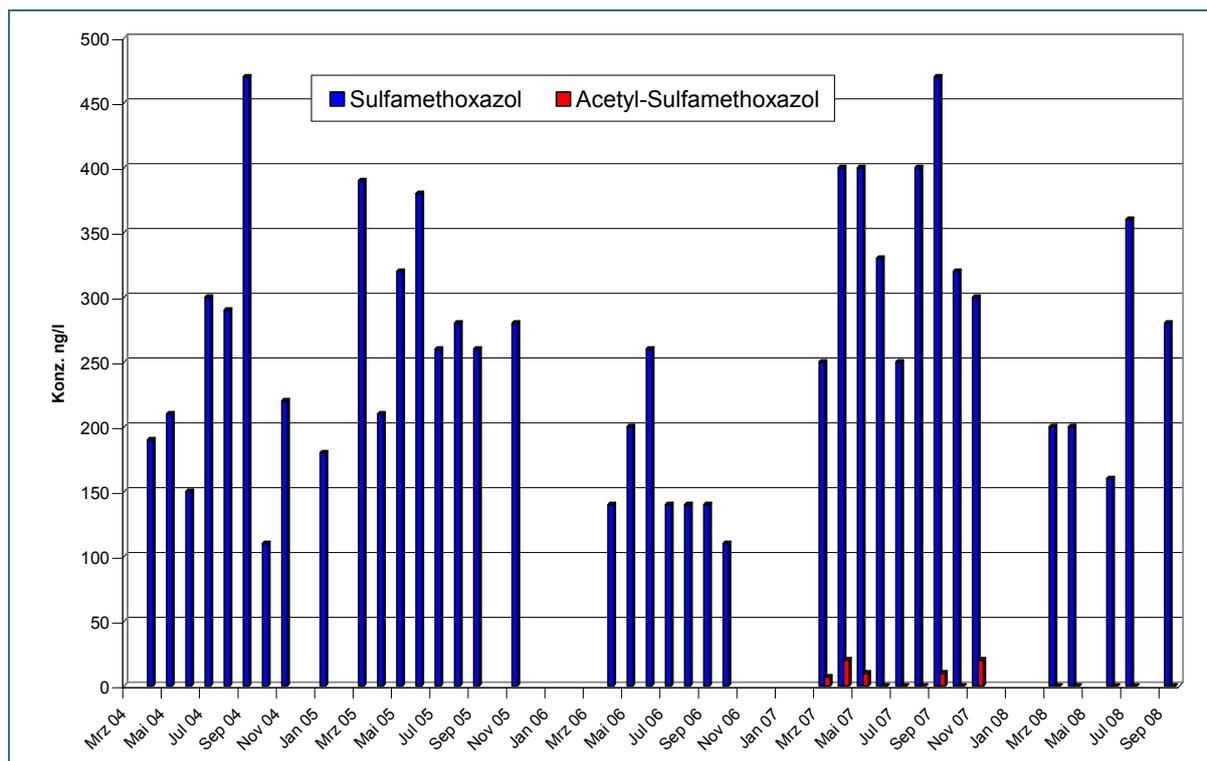


Abb. 20: Sulfamethoxazol und Hauptmetabolit im Ablauf der Kläranlage Geiselbullach

5.2.3 Antiepileptika

Das in großen Mengen verschriebene Carbamazepin ist in Kläranlagenabläufen z. T. in Konzentrationen um $1 \mu\text{g/l}$ zu finden (s. Abb. 21). Wie in Fließgewässern ist der stabile Metabolit 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin in einem relativ konstanten Verhältnis in annähernd doppelter Konzentration gegenüber dem Carbamazepin nachweisbar.

Die Primidonkonzentrationen liegen relativ stabil im Bereich von 200 ng/l , während der Hauptmetabolit 2-Ethyl-2-phenylmalonamid jeweils in rund ein Drittel niedrigeren Konzentrationen analysiert werden kann.

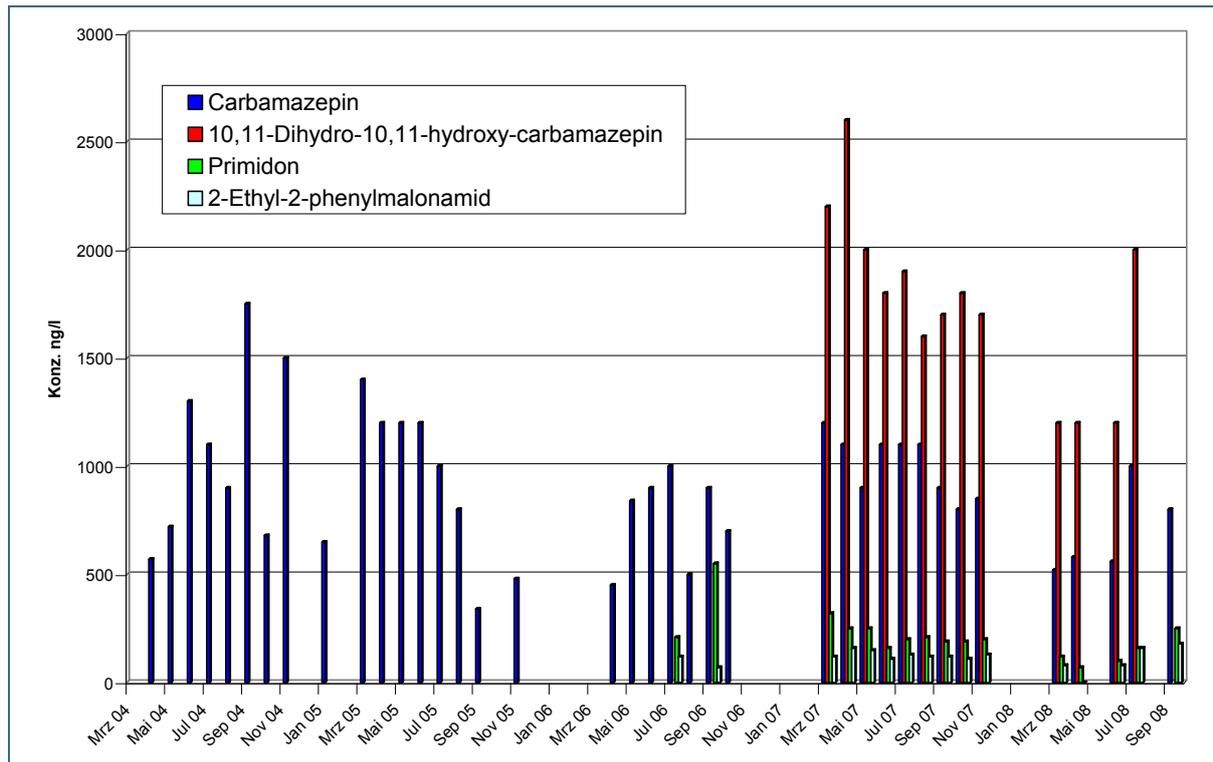


Abb. 21: Vergleich zweier Antiepileptika im Ablauf der Kläranlage Geiselbullach

5.2.4 Auswirkungen von UV-Anlagen in Kläranlagen auf die Arzneimittelwirkstoffkonzentrationen

In den letzten Jahren sind im Bereich der oberen und mittleren Isar alle relevanten Kläranlagen zur Verbesserung der bakteriologisch-hygienischen Gewässerqualität mit UV-Anlagen nachgerüstet worden. Diese Anlagen werden während der Badesaison von April bis September betrieben. Auch die Kläranlage München 2 und die Kläranlage Starnberg, die in die Würm entwässert, haben eine UV-Anlage zur Abwasserdesinfektion des gereinigten Abwassers installiert.

Um zu erkennen, ob UV-Bestrahlung in der zur Desinfektion verwendeten Energieintensität in der Lage ist, auch Arzneimittelwirkstoffe zu eliminieren, wurden an der Kläranlage München 2 zweimal, an der Kläranlage Starnberg einmalig eine orientierende Analyse vor und nach UV-Behandlung durchgeführt.

Während die untersuchten Betarezeptorenblocker während der UV-Behandlung kaum verändert wurden, konnte bei den Metamizol-Metaboliten eine Verminderung der Wirkstoffkonzentrationen um ca. 35 % ermittelt werden (s. Abb. 21 und 22). Hier wird vermutlich die Formyl- bzw. die Acetylgruppe abgespalten. Die Konzentrationen der Antibiotika nehmen ebenfalls ab, allerdings wurden bei der Kläranlage München 2 z. T. widersprüchliche Ergebnisse erhalten. Da sich grundsätzlich zeigte, dass eine UV-Behandlung keinen wesentlichen Beitrag zur Eliminierung von Arzneimittelwirkstoffen leisten kann, wurde auf eine detailliertere Untersuchung verzichtet.

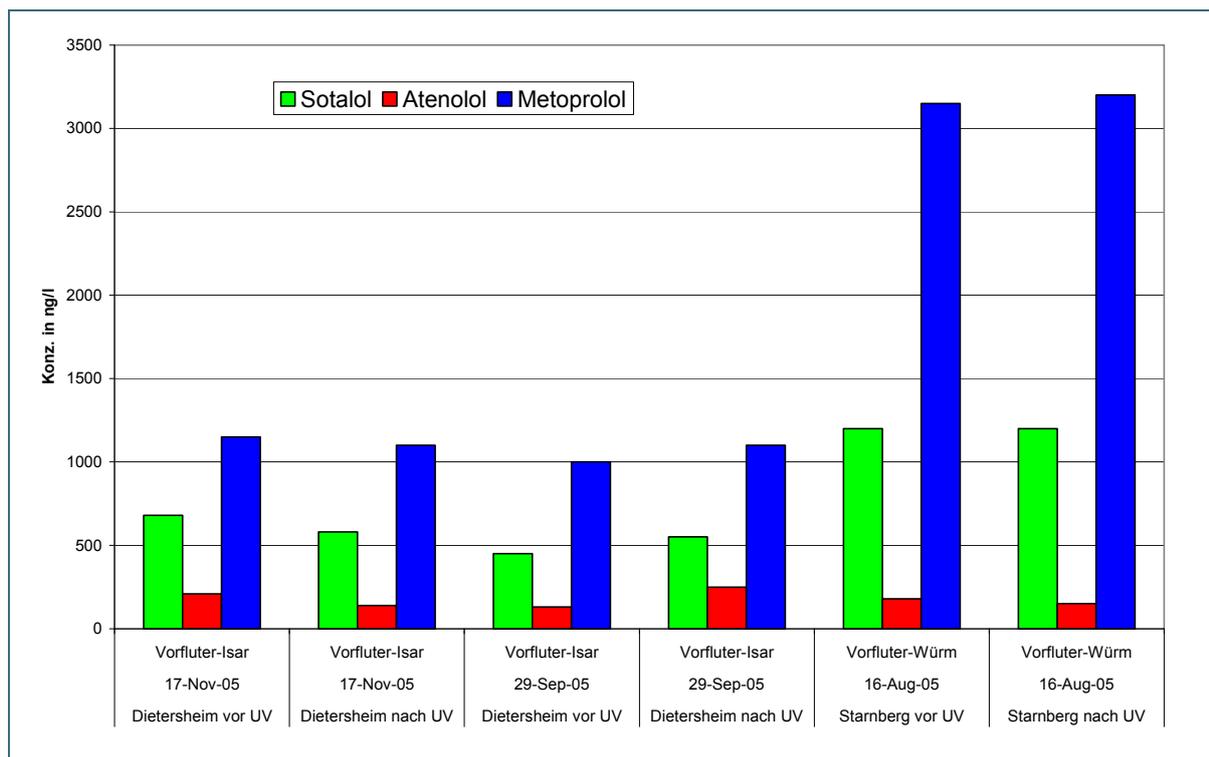


Abb. 22: Wirkung der UV-Behandlung von Betarezeptorenblocker in Kläranlagenabläufen

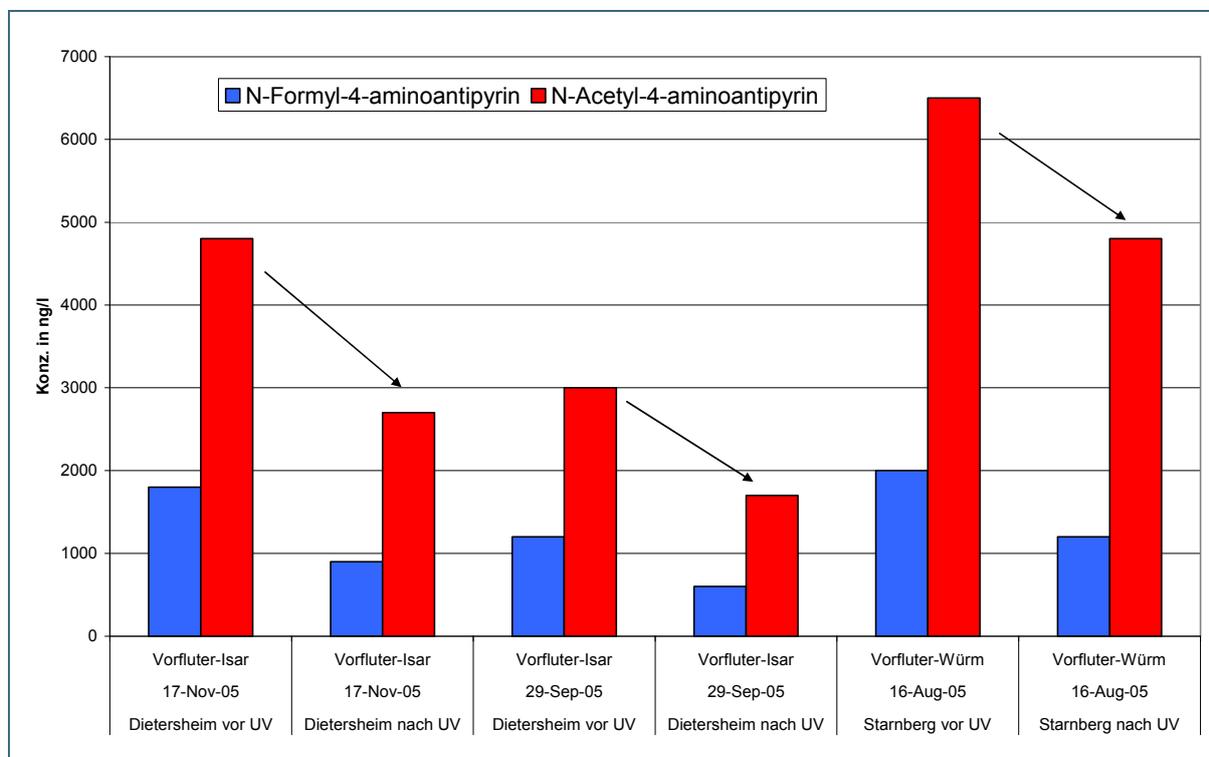


Abb. 23: Wirkung der UV-Behandlung von Metamizolmetaboliten in Kläranlagenabläufen

6 Diskussion

Die im bayerischen Arzneimittel-Monitoring erhaltenen Daten bestätigen die in den letzten Jahren national und international ermittelten Befunde für Arzneimittelwirkstoffe in Oberflächengewässer und Kläranlagenabläufen. Die Belastung der Gewässer variiert dabei mit den sich verändernden Verordnungsmengen sowie den jeweiligen Abflussverhältnissen. Somit zeigen die Ergebnisse an den ausgewählten Probenahmestellen ein repräsentatives Bild für die gesamte Landesfläche.

Einen umfassenden Überblick über das Vorkommen von Arzneimittelwirkstoffen und einigen Metaboliten zeigte die Auswertung von 170 Literaturstellen, die im Rahmen des EU-Projekts „KNAPPE“ (**K**nowledge and **N**eed **A**ssesment on **P**harmaceutical **P**roducts in **E**nvironmental **W**aters) für die verschiedenen aquatischen Kompartimente vorgenommen wurde. Es wurden 58.400 Einzelwerte aus 22 Ländern für 178 Einzelverbindungen verwendet [12].

So wurden auch für einige der in Bayern untersuchten Wirkstoffe durchschnittliche gemessene Konzentrationen (Mediane) in Kläranlagenabläufen und Oberflächengewässern angegeben. In Tabelle 6 sind diese Werte den Medianen der Kläranlagenabläufe der Anlagen München 2 und Geiselbullach gegenübergestellt. Die entsprechende Gegenüberstellung für Oberflächengewässern ist in Tabelle 7 enthalten.

Tab. 6: Wirkstoffkonzentrationen (Mediane) in Kläranlagenabläufen aus Literatur 12 sowie aus dem bayerischen Arzneimittelmonitoring (alle Werte in µg/l)

| Substanz | KA-Ablauf (Mediane nach Lit. 11) | KA-Ablauf KA München 2 Mediane | KA-Ablauf KA Geiselbullach Mediane |
|-----------------|--|--------------------------------------|--|
| Azithromycin | <BG | 0,200 | 0,170 |
| Clarithromycin | 0,109 | 0,185 | 0,140 |
| Erythromycin | 0,252 | 0,155 | 0,130 |
| Roxithromycin | 0,101 | 0,100 | 0,074 |
| Sulfamethoxazol | 0,307 | 0,425 | 0,260 |
| Carbamazepin | 1,187 | 0,700 | 0,900 |
| Atenolol | 0,277 | 0,120 | 0,100 |
| Metoprolol | 0,842 | 1,100 | 1,400 |
| Sotalol | 1,109 | 0,370 | 0,570 |

Die Mediane für Kläranlagenabläufe liegen mit Ausnahme von Sotalol für die beiden untersuchten Abflüsse in gut vergleichbaren Konzentrationsbereichen. Dies belegt, dass auch europaweit von einem sehr ähnlichen Verschreibungsverhalten bei wichtigen Arzneimittelwirkstoffen ausgegangen werden kann. Die in Literatur 12 für weitere Wirkstoffe angegebenen Medianwerte könnten daher auch auf bayerische Kläranlagen übertragen und für entsprechende Prognosen verwendet werden – auch ohne eine Vielzahl eigener Untersuchungen durchführen zu müssen.

Tab. 7: Wirkstoffkonzentrationen (Mediane) in Oberflächengewässern aus Literatur 12 sowie aus dem bayerischen Arzneimittelmonitoring (alle Werte in µg/l)

| Substanz | Oberflächengewässer (Mediane nach Lit. 11)] | Main bei Marktheidenfeld Mediane | Donau bei Bad Abbach Mediane | Isar bei Plattling Mediane |
|-----------------|---|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Azithromycin | <BG | <BG | <BG | <BG |
| Clarithromycin | <BG | 0,013 | 0,005 | <BG |
| Erythromycin | 0,026 | 0,010 | <BG | <BG |
| Roxithromycin | <BG | 0,006 | <BG | <BG |
| Sulfamethoxazol | 0,03 | 0,050 | 0,015 | 0,022 |
| Carbamazepin | 0,227 | 0,100 | 0,034 | 0,035 |
| Atenolol | <BG | 0,006 | 0,004 | <BG |
| Metoprolol | 0,025 | 0,065 | 0,023 | 0,024 |
| Sotalol | 0,044 | 0,036 | 0,012 | 0,011 |

Stellt man die in internationalen Gewässern ermittelten Mediane den Medianen von Main, Donau und Isar gegenüber, so erkennt man z. T. deutliche Abweichungen. So ist z.B. die Belastung der bayerischen Flüsse mit Carbamazepin oder Sotalol deutlich geringer. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die absoluten Konzentrationen von Spurenstoffen in der wasserreichen Donau stets deutlich niedriger liegen als im Main. Dennoch sind die in Literatur 12 dargestellten Mediane ein wichtiger Anhaltspunkt für die Auswahl der für Monitoringprogramme auszuwählenden Wirkstoffe und der zu erwartenden Konzentrationsbereiche.

Im gleichen Bericht des EU-Projekts „KNAPPE“ [12] ist auch das aus dem Vergleich von Messwerten für Kläranlagenzulaufe und -abläufe berechnete durchschnittliche Eliminationsverhalten von Kläranlagen angegeben. Dafür wird das Verhältnis von Ablaufkonzentration zu Zulaufkonzentration gebildet. Gleichzeitig wird auch die Zahl der untersuchten Proben angegeben, um die Qualität der Daten einschätzen zu können. Allerdings ist nur in den seltensten Fällen eine korrespondierende Probenahme an Kläranlagen durchgeführt worden, so dass die erhaltenen Ergebnisse keine exakten Eliminationsraten darstellen.

Für die im Arzneimittelmonitoring in Bayern untersuchten Einzelverbindungen wurden die in Tabelle 8 präsentierten Daten ermittelt. Für das Diuretikum Triamteren sind keine Eliminationsraten bekannt, die Befunde in Kläranlagenabläufen (Mediane von 185 ng/l in Geiselbullach bzw. 145 ng/l in München) bestätigen aber wiederum beispielhaft, dass die Mehrzahl der Arzneimittelwirkstoffe in Kläranlagen nur schlecht zurückgehalten werden kann

Tab. 8: Eliminationsverhalten von Arzneimittelwirkstoffen und Metaboliten für die im bayerischen Arzneimittelmonitoring untersuchten Einzelverbindungen gemäß Literatur [12]

| Substanz | Anzahl der ausgewerteten Proben | | Quotient der Konzentration Ablauf/Zulauf |
|----------------|---------------------------------|-------------------|--|
| | Kläranlagenzulauf | Kläranlagenablauf | |
| Atenolol | 123 | 62 | 0,5 |
| Metoprolol | 208 | 74 | 0,8 |
| Sotalol | 112 | 51 | 0,7 |
| Azithromycin | 25 | 19 | 0,8 |
| Clarithromycin | 245 | 120 | 1,2 |

| Substanz | Anzahl der ausgewerteten Proben | | Quotient der Konzentration Ablauf/Zulauf |
|----------------------------|---------------------------------|-------------------|--|
| | Kläranlagenzulauf | Kläranlagenablauf | |
| Erythromycin | 215 | 209 | 1,0 |
| Roxithromycin | 257 | 133 | 0,7 |
| Sulfamethoxazol | 129 | 103 | 0,6 |
| Carbamazepin | 401 | 209 | 1,0 |
| *N-Formyl-4-aminoantipyrin | 12 | 12 | 1,1 |
| *N-Acetyl-4-aminoantipyrin | 12 | 12 | 0,8 |
| Triamteren | k.A. | k.A. | k.A. |

k.A. = keine Angabe

Aufgrund der in Tabelle 9 dokumentierten schlechten Eliminationsraten für viele Arzneimittelwirkstoffe in Kläranlagen (nach dem Stand der Technik) besteht – wie auch im bayerischen Arzneimittel-Monitoring nachgewiesen – eine flächenhafte, kontinuierliche und dauerhafte Belastung der Oberflächengewässer.

Diese Belastung ließe sich z.B. im Bereich der Abwassertechnik durch Maßnahmen der weitergehenden Abwasserreinigung („4. Reinigungsstufe“) vermindern. In verschiedenen nationalen und internationalen Modellprojekten wurden u. a. die Ozonierung oder die Aktivkohlebehandlung des gereinigten Abwassers getestet. Diese Techniken werden in der Schweiz, in Baden-Württemberg und in Nordrhein-Westfalen an ausgewählten Kläranlagen im großtechnischen Maßstab zum Einsatz kommen. So wurden z.B. bei einer Ozondosierung von 0,47 g O₃/g DOC für 9 der auch in Bayern untersuchten Wirkstoffe Eliminationsraten von 91 - 100 % ermittelt (Untersuchungen der EAWAG, Schweiz, siehe Lit. [13]). Lediglich für Primidon liegt die Eliminationsrate mit 57 % deutlich niedriger.

Das bayerische Arzneimittel-Monitoring wird in den nächsten Jahren weitergeführt werden. Dabei ist vorgesehen, die Messstellen sowie das Stoffspektrum im Rahmen der verfügbaren Kapazitäten anzupassen und ggf. zu erweitern.

Ein Monitoring von Arzneimittelwirkstoffen ist ein wichtiger Bestandteil der systematischen Überwachung der Sicherheit von Arzneimitteln (Pharmakovigilanz unter Umweltgesichtspunkten). Gleichzeitig ist damit eine Datengrundlage geschaffen zur Begleitung von Risikominderungsmaßnahmen z.B. in Form einer weitergehenden Abwasserreinigung.

7 Literatur

- [1] LfW-Materialien Nr. 114, Arzneimittel in der Umwelt, Schlussbericht August 2004;
<http://www.lfw.bybn.de/lfw/service/download/mat114.pdf>
- [2] Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse;
Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (BLAC), Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz am 19./20.11.03;
<http://fhh.hamburg.de/stadt/Aktuell/behoerden/wissenschaft-gesundheit/hygiene-umwelt/umwelt/chemikalien/arznei03-pdf,property=source.pdf>
- [3] Beschluss der 61. Umweltministerkonferenz am 19./20.11.2003 in Hamburg zu TOP 34
- [4] EMEA, Committee for medicinal products for human use (CHMP), Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use, 01.06.2006 (Dokument EMEA/CHMP/SWP/4447/00)
- [5] Schwabe, U., Paffrath, D. (Hrsg.): Arzneiverordnungs-Report 2004, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2004, ISBN 3-540-21359-7
- [6] Schwabe, U., Paffrath, D. (Hrsg.): Arzneiverordnungs-Report 2009, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2009, ISBN 978-3-642-01079-8
- [7] ATC/DDD-Index 2009; <http://www.whocc.no/atcddd/indexdatabase/index.php>
- [8] Kommentar zum Europäischen Arzneibuch, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 2008 (Grundwerk mit 30. Aktualisierungslieferung 2008)
- [9] Arzneimittel-Kompendium der Schweiz, www.kompendium.ch
- [10] Richtlinie 96/23/EG über Kontrollmaßnahmen hinsichtlich bestimmter Stoffe und ihrer Rückstände in lebenden Tieren und tierischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Richtlinien 85/358/EWG und 86/496/EWG und der Entscheidungen 89/187/EWG und 91/664/EWG
- [11] Letzel M., Metzner G., Gierig M.: Abschlussbericht „Verhalten prioritärer organischer Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie in Kläranlagen und beim Eintrag in oberirdische Gewässer“, 2008, Reihe „UmweltSpezial“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt
- [12] EU-Projekt “KNAPPE”, Sadezky A., Löffler D., Ternes T., Deliverable number D1.2: “Proposal of an environmental indicator and classification system of pharmaceutical residues for environmental management“, www.knappe-eu.org
- [13] Hollender J., Zimmermann S.G., Koepke S., Krauss M., Mc Ardell C.S., Ort C., Singer H. von Gunten U., Siegrist H., Elimination of organic micropollutants in a municipal waste water treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by sand filtration, Environ. Sci. Technol., 43, 7682-7689 (2009)

8 Anhang

8.1 Karten mit Beschreibung der Probenahmestellen

| Main bei Marktheidenfeld | |
|---------------------------------|---|
| Regierungsbezirk | Unterfranken |
| Landkreis/Ortschaft | Marktheidenfeld / Marktheidenfeld |
| Hochwert/Rechtswert | 5526196 / 4327351 |
| Potentielle Einflüsse | kleinere Kläranlagen bei Glasofen, Mariabrunn |
| Probenahmezeitraum | 15.04.00 - 14.11.2008 |
| Probenanzahl | 57 |

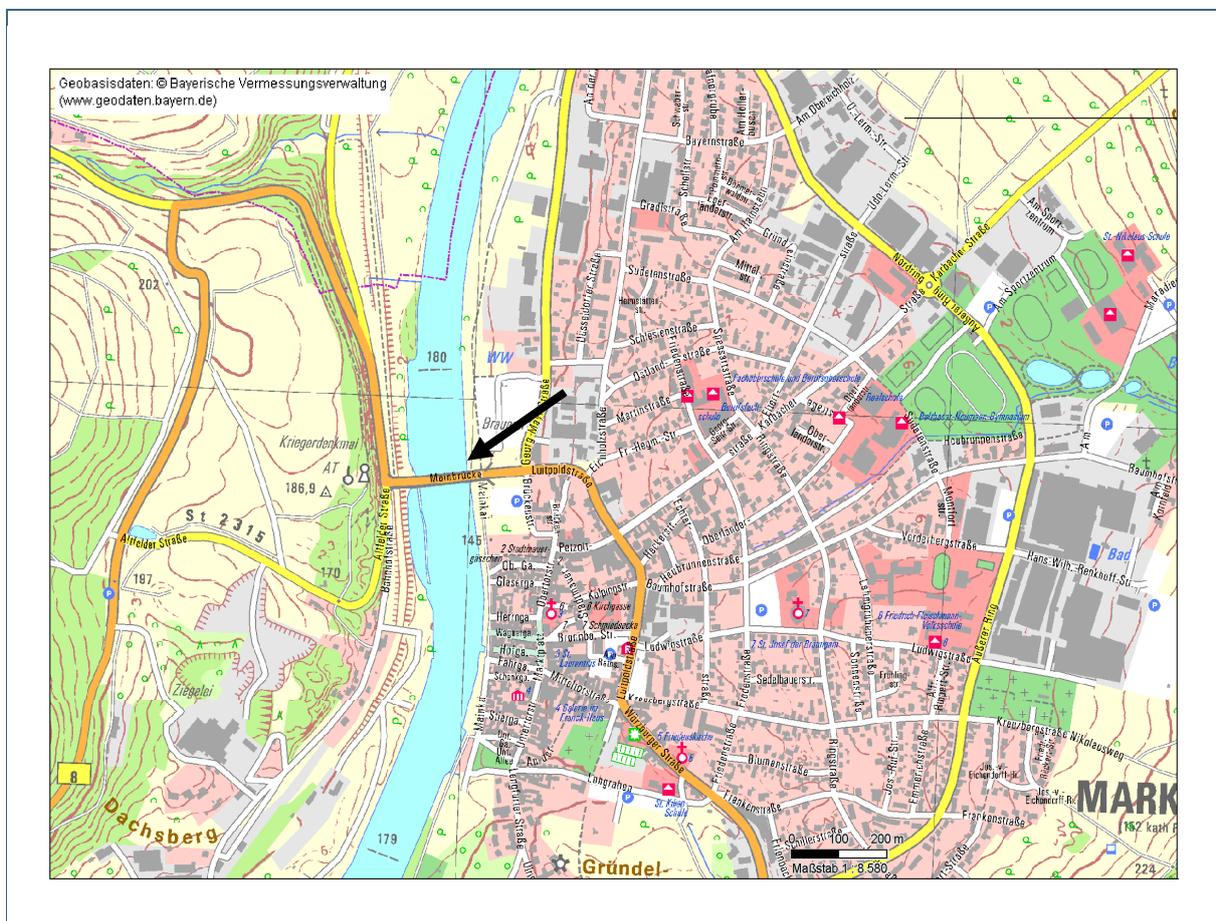


Abb. 24: Karte mit Probenahmestelle: Main bei Marktheidenfeld

| Donau bei Bad Abbach | |
|-----------------------------|------------------------|
| Regierungsbezirk | Niederbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Kelheim / Bad Abbach |
| Hochwert/Rechtswert | 5421027 / 4501128 |
| Potentielle Einflüsse | Kläranlage Kelheim |
| Probenahmezeitraum | 11.10.2000 - 5.11.2008 |
| Probenanzahl | 36 |

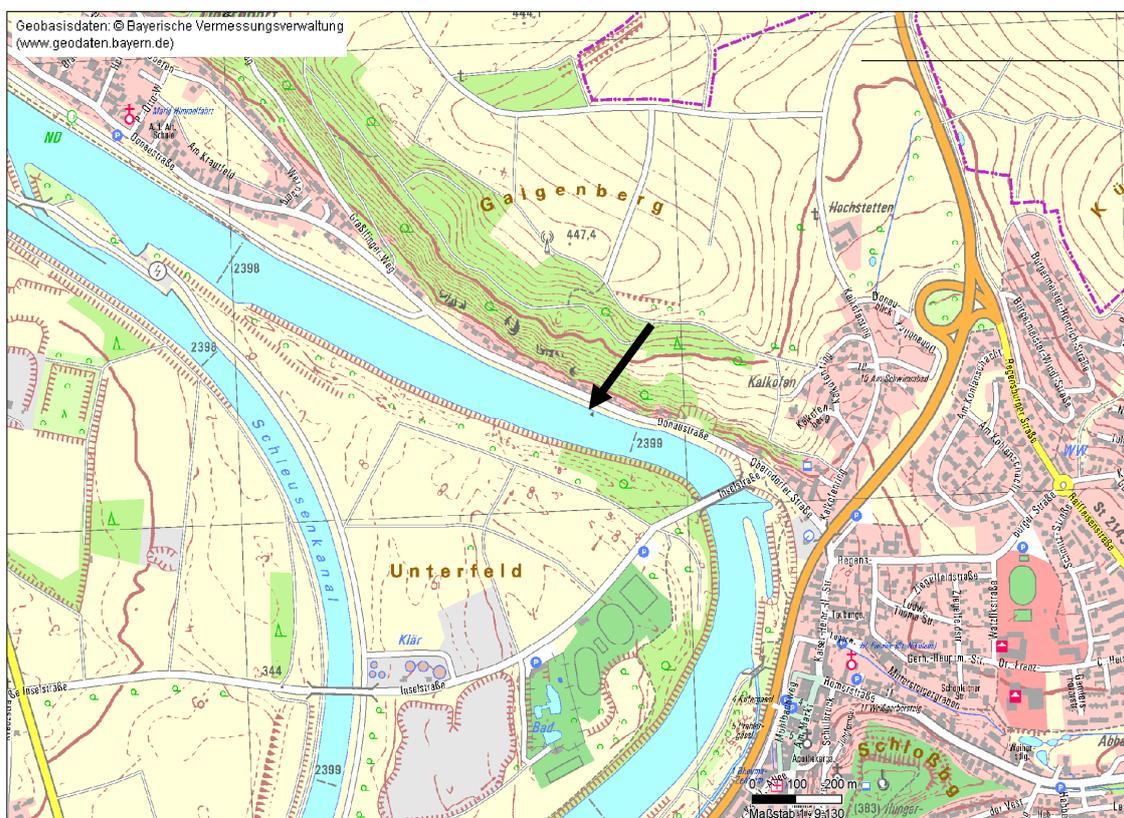


Abb. 25: Karte mit Probenahmestelle: Donau bei Bad Abbach

| Isar bei Plattling | |
|---------------------------|------------------------|
| Regierungsbezirk | Niederbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Deggendorf / Plattling |
| Hochwert/Rechtswert | 5404149 / 4565117 |
| Potentielle Einflüsse | |
| Probenahmezeitraum | 15.3.2004 – 5.11.2008 |
| Probenanzahl | 35 |

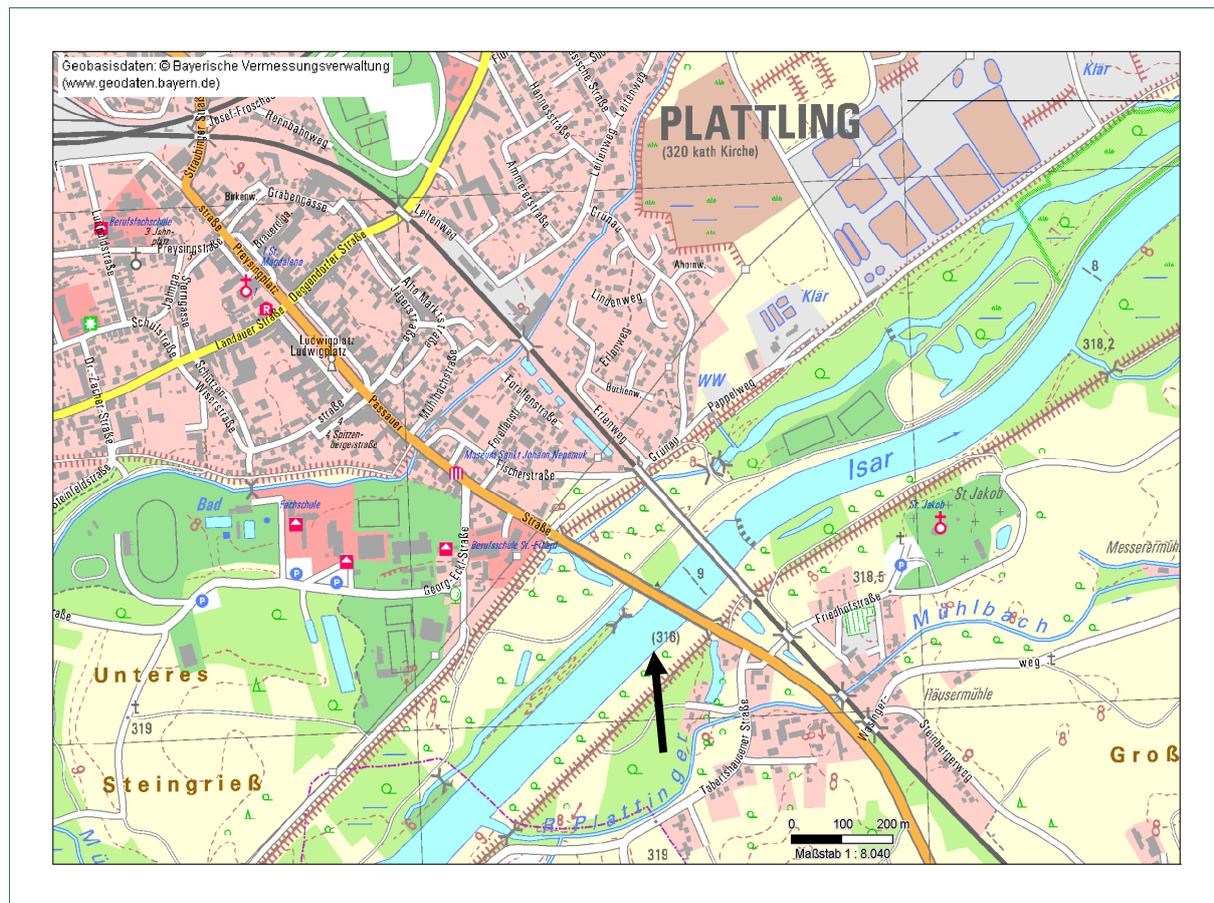


Abb. 26: Karte mit Probenahmestelle: Isar bei Plattling

| Amper bei Moosburg-Volkmanndorferau vor Mündung in die Isar | |
|--|--------------------------|
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Freising / Moosburg |
| Hochwert/Rechtswert | 5373648 / 4496888 |
| Potentielle Einflüsse | Kanalsystem mit der Isar |
| Probenahmezeitraum | 28.06.05 – 23.09.2009 |
| Probenanzahl | 25 |

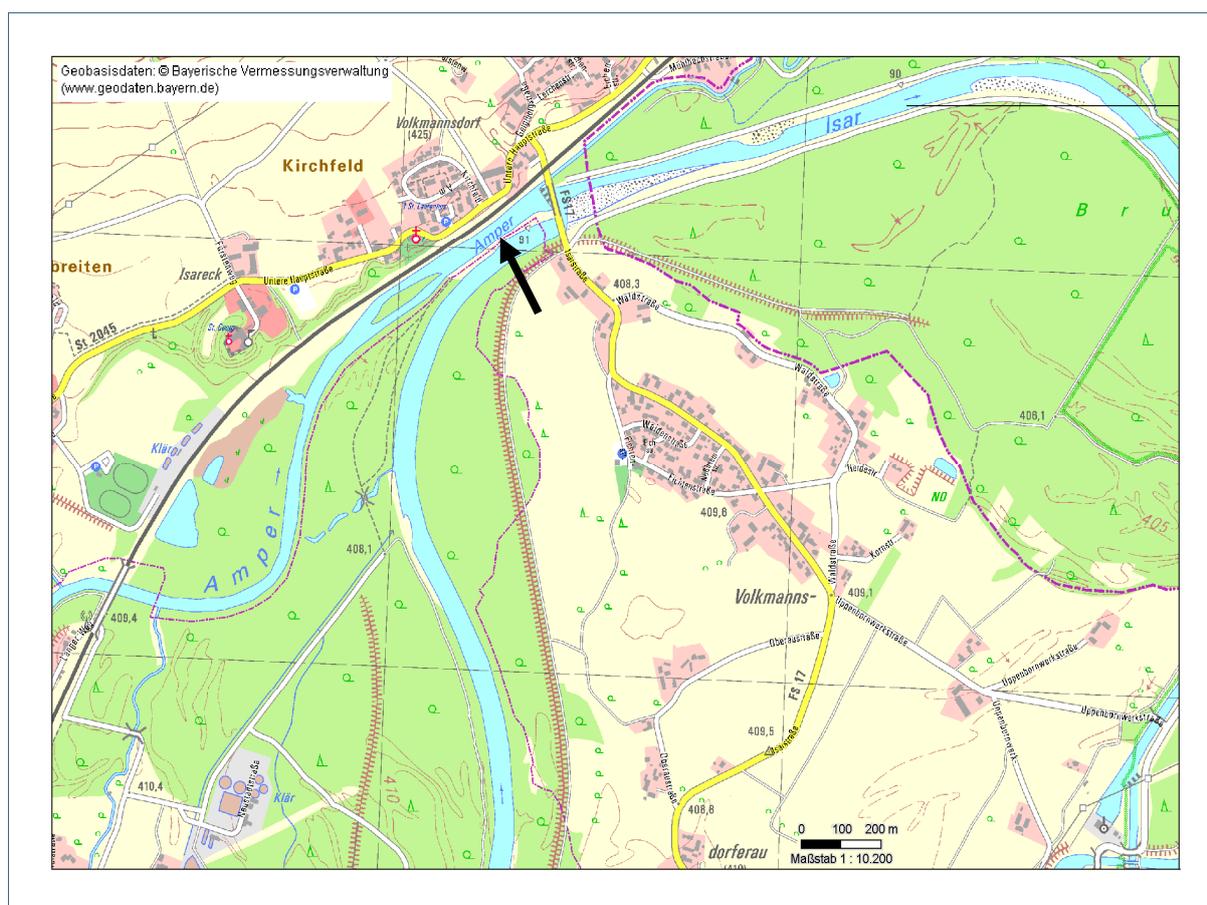


Abb. 27: Karte mit Probenahmestelle: Amper bei Mündung in die Isar

| Würm bei Dachau vor Mündung in die Amper | |
|---|-----------------------|
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Dachau / Dachau |
| Hochwert/Rechtswert | 5349781 / 4461098 |
| Potentielle Einflüsse | Kläranlage Dachau |
| Probenahmezeitraum | 22.04.04 – 17.11.2009 |
| Probenanzahl | 37 |

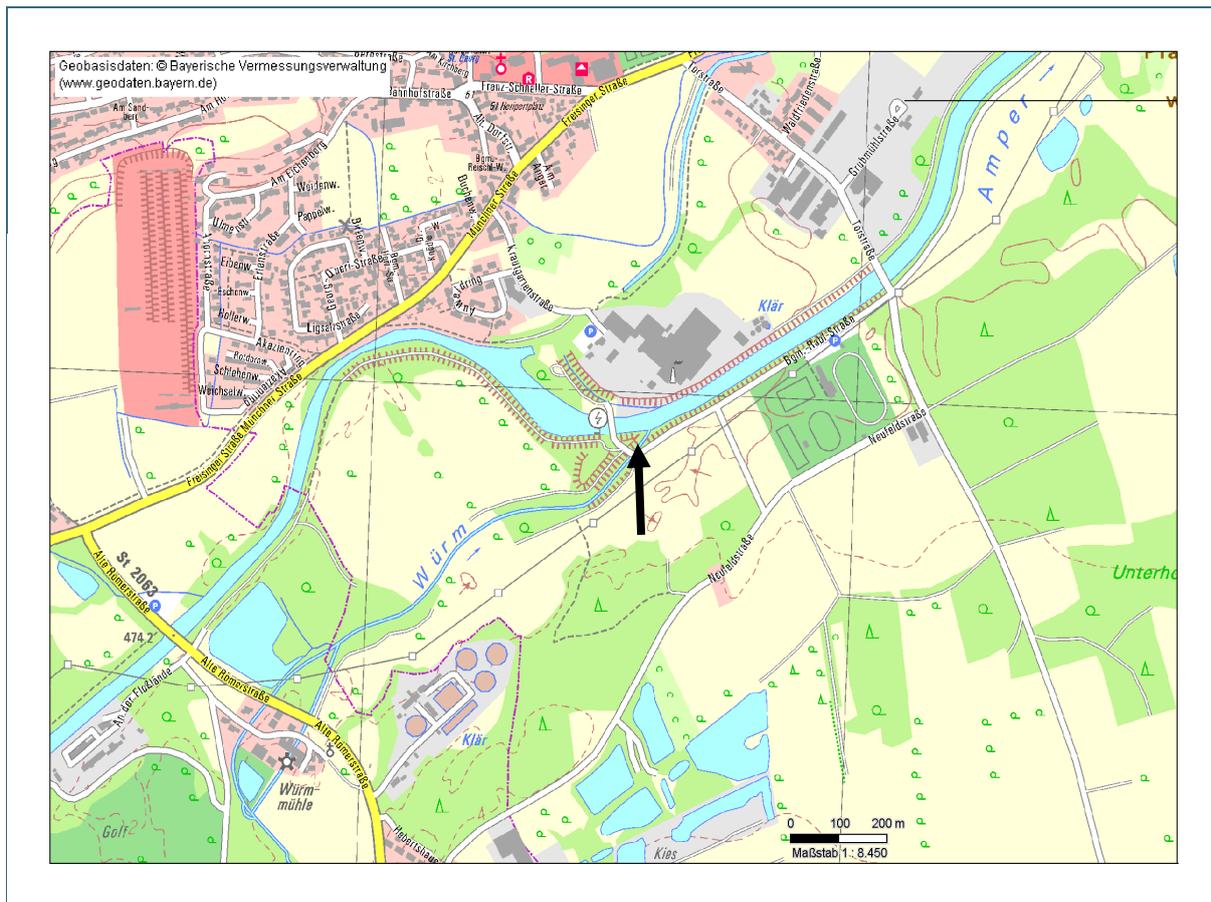


Abb. 28: Karte mit Probenahmestelle: Würm bei Mündung in die Amper

| | |
|-----------------------------|---|
| Ebrach bei Ebersberg | |
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Ebersberg / Ebersberg |
| Hochwert/Rechtswert | 5326683 / 4499475 |
| Potentielle Einflüsse | Hoher Abwasseranteil der Kläranlage Ebersberg |
| Probenahmezeitraum | 12.04.2006 – 17.11.2008 |
| Probenanzahl | 22 |

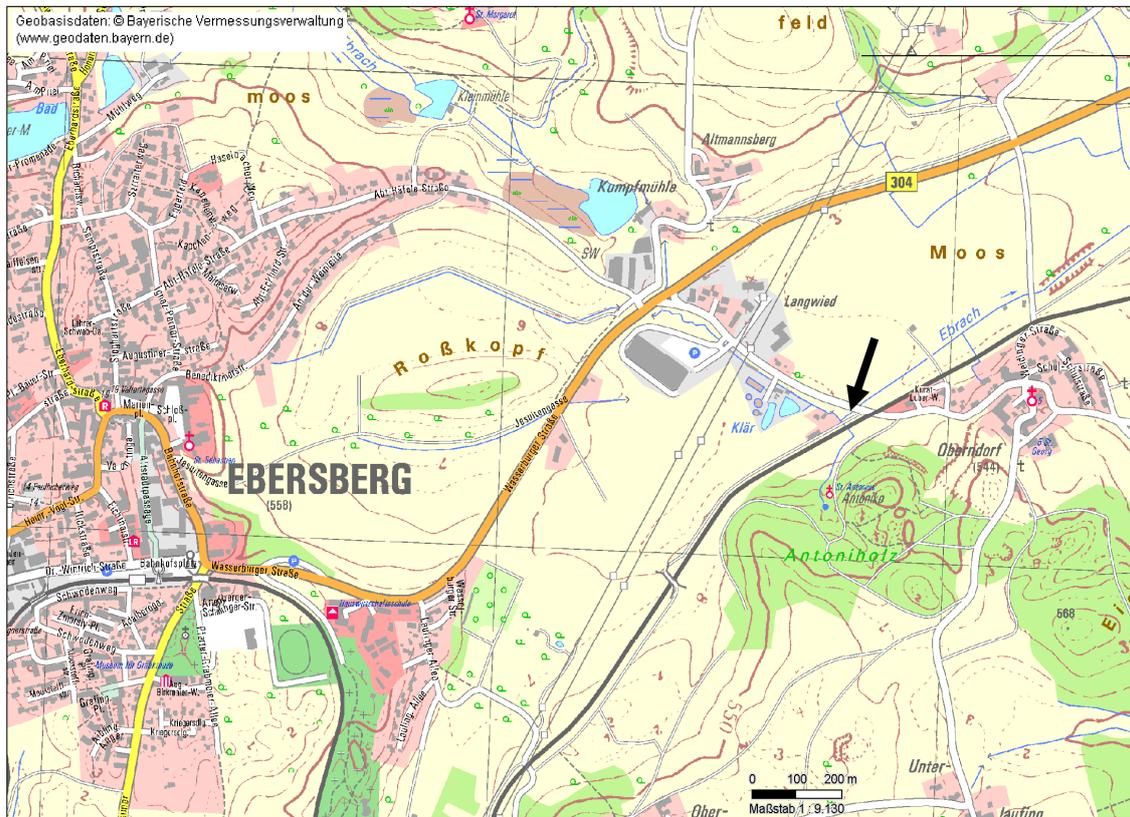


Abb. 29: Karte mit Probenahmeestelle: Ebrach nach Einleitung der Kläranlage Ebersberg

| Murn bei Untermühle / kurz vor Mündung in den Inn | |
|--|--|
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Rosenheim / Vogtareuth |
| Hochwert/Rechtswert | 5314347 / 4512122 |
| Potentielle Einflüsse | Kläranlage Vogtareuth (großes Klinikum im Einzugsgebiet) |
| Probenahmezeitraum | 6.03.02 – 16.11.2005 |
| Probenanzahl | 19 |

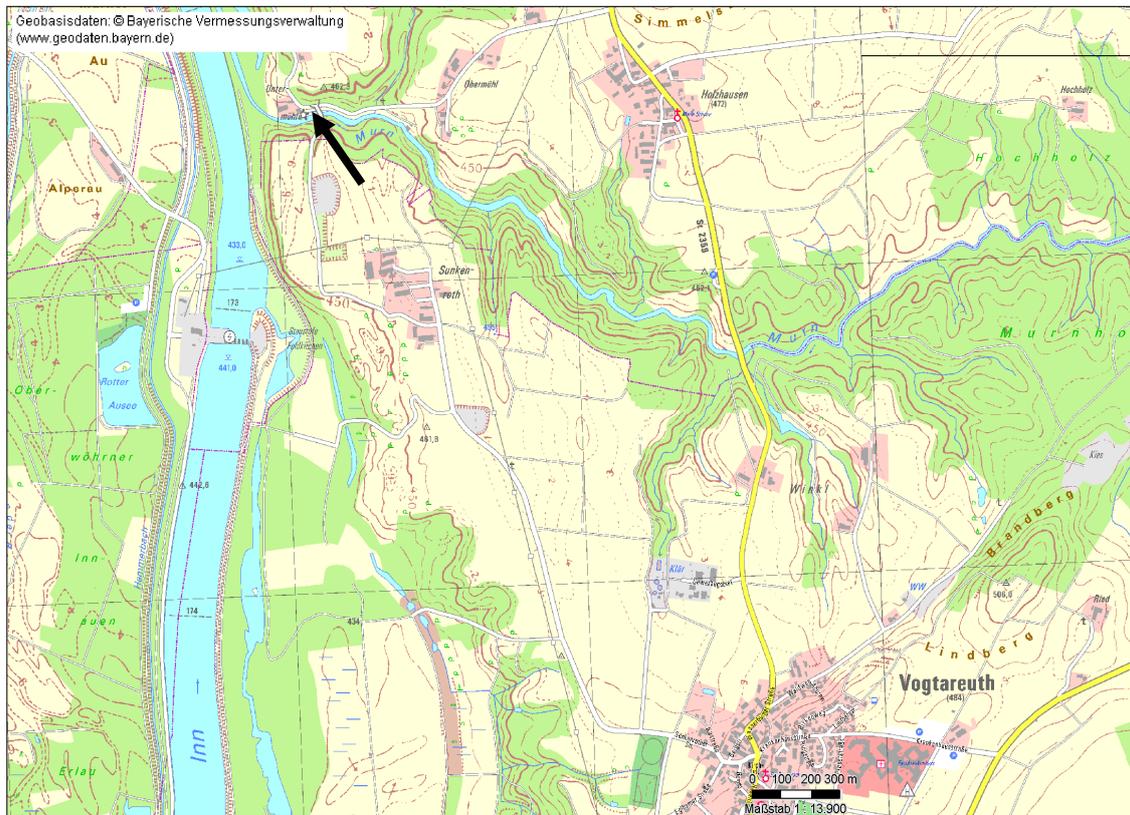


Abb. 30: Karte mit Probenahmestelle: Murn vor Mündung in den Inn

| Kläranlage Geiselbullach | |
|---------------------------------|----------------------------|
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Fürstenfeldbruck / Olching |
| Hochwert/Rechtswert | 5344118 / 4452741 |
| Probenahmezeitraum | 10.10.03 – 24.8.2005 |
| Probenanzahl | 18 |

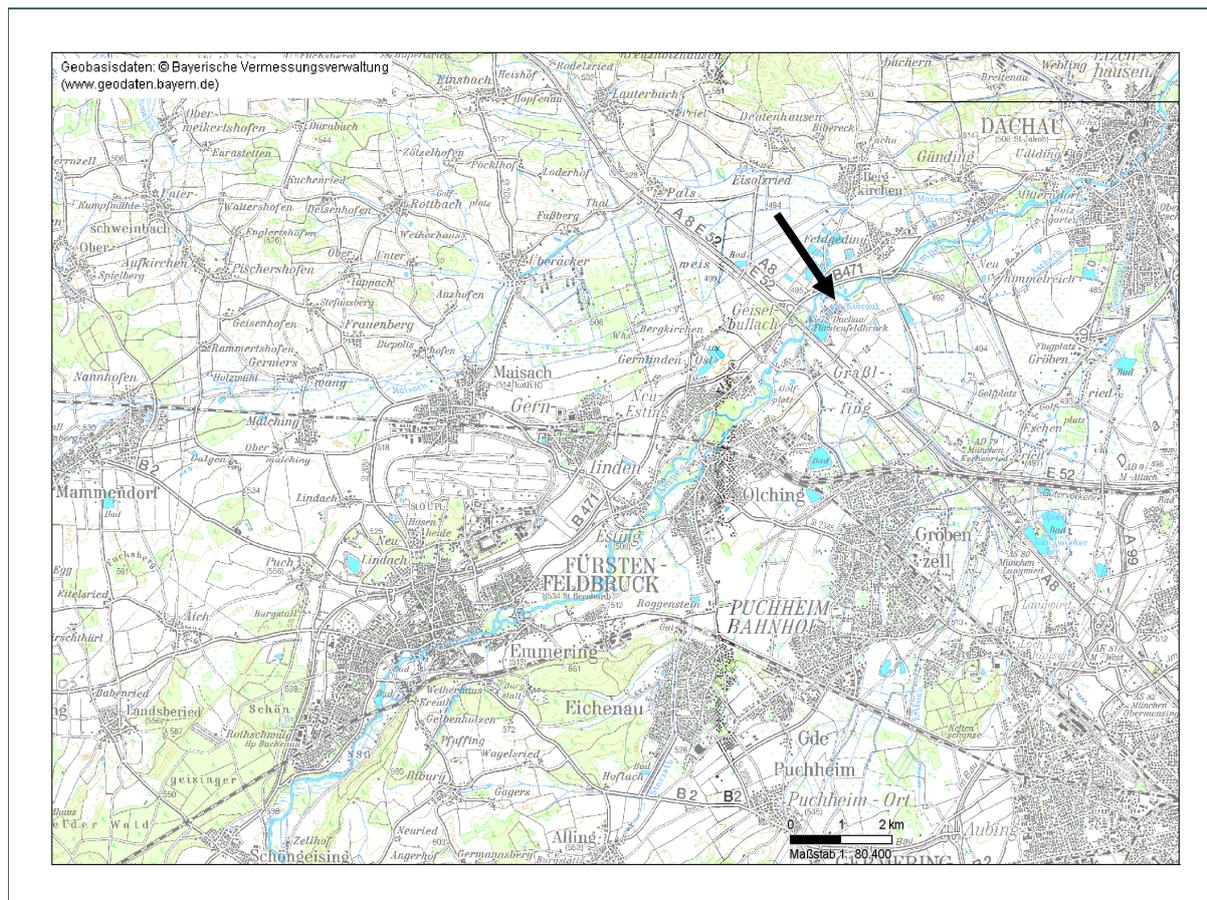


Abb. 31: Karte mit der Probenahmeestelle: Kläranlage Geiselbullach

| Kläranlage München 2, Dietersheim (Gut Marienhof) | |
|--|--|
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Freising / Eching |
| Hochwert/Rechtswert | 5350772 / 4476845 |
| Besonderheit | UV-Behandlung des Kläranlagenablaufes seit 08/2005 |
| Probenahmezeitraum | 19.1.2005 – 23.09.2008 |
| Probenanzahl vor UV-Anlage | 30 |
| Proben nach UV-Anlage | 2 |

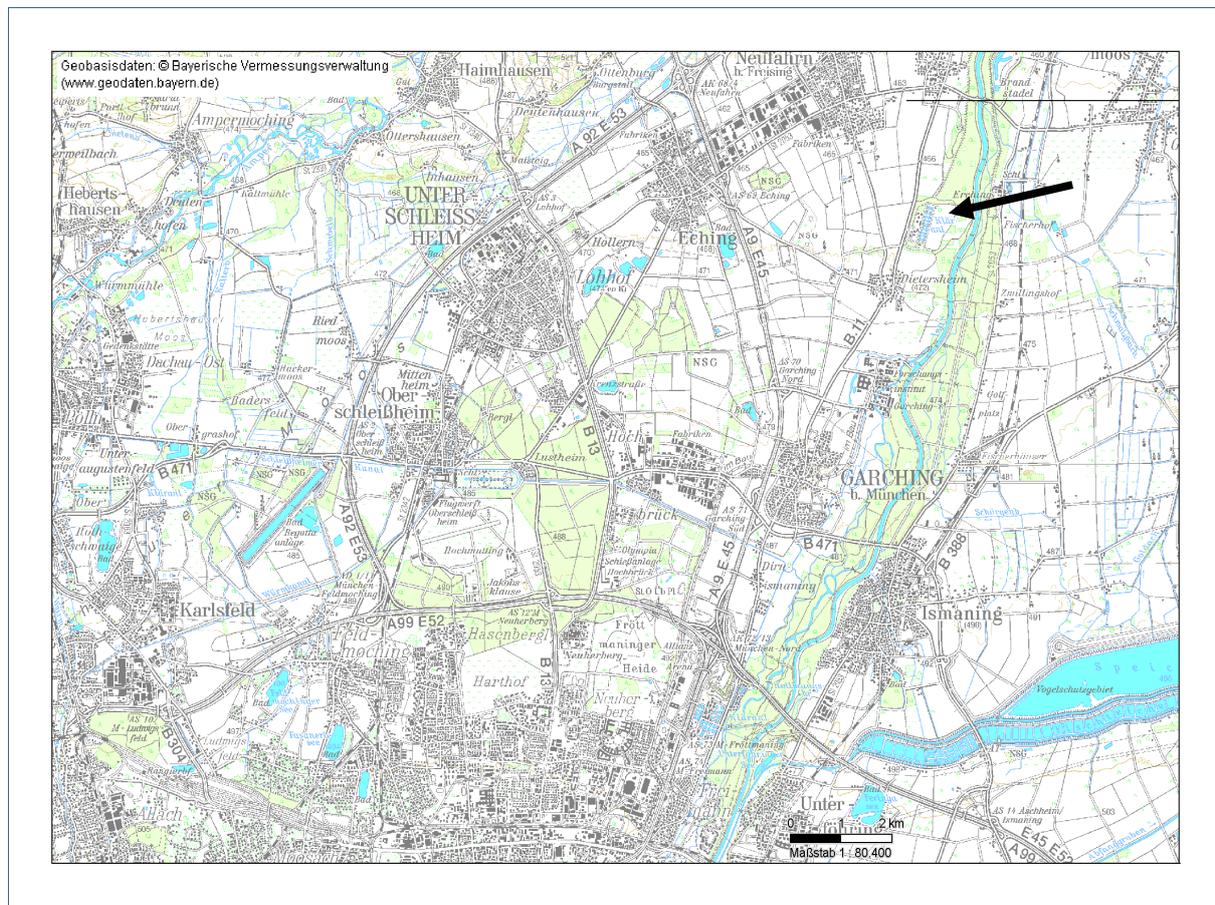


Abb. 32: Karte mit Probenahmestelle: Kläranlage München 2

Zusätzlich beprobte Kläranlage für die Bestimmung der Arzneimittelkonzentrationen nach UV-Behandlung.

| Kläranlage Starnberg | |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Regierungsbezirk | Oberbayern |
| Landkreis/Ortschaft | Starnberg/Starnberg |
| Hochwert/Rechtswert | 5319928 - 4452533 |
| Besonderheit | UV-Behandlung des Kläranlagenablaufes |
| Probenahmezeitraum | 16.9.05 |
| Probenanzahl | 2 |

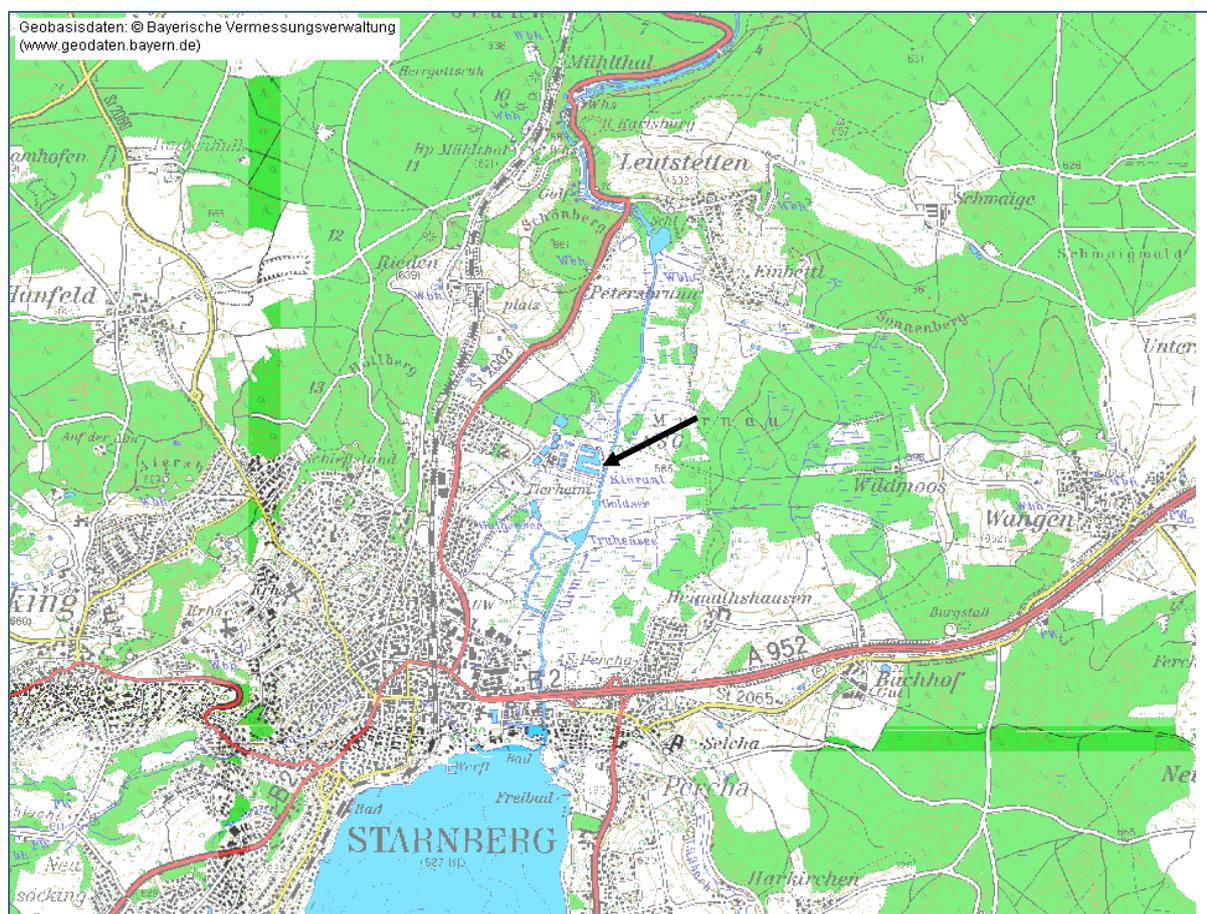


Abb. 33: Karte mit Probenahmestelle: Kläranlage Starnberg

8.2 Messwert-Tabellen

Vorbemerkung:

Die verschiedenen Bestimmungsgrenzen (<Wert) sind auf die über die Jahre unterschiedlichen Messverfahren zurückzuführen.

Bei Leerstellen wurde entweder keine Messung durchgeführt, oder die Analyse war zu stark gestört.

Tab. 9: Main bei Marktheidenfeld (Konz. in ng/l) Teil 1

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| 15.04.2000 | 25 | 150 | 100 | 50 | | | | | 50 | | | | | <10 | 60 | | | 300 |
| 10.08.2000 | <40 | 30 | <40 | 85 | | | | | <50 | | | | <50 | <50 | <50 | | | 160 |
| 13.11.2000 | 10 | 130 | 170 | 220 | | | | | 190 | | | | 60 | <10 | <10 | | | 310 |
| 12.02.2001 | 20 | 60 | 70 | 50 | | | | | 70 | | | | 70 | 150 | <20 | | | 300 |
| 14.08.2001 | 10 | 100 | 100 | 300 | | | | | 200 | | | | <20 | 300 | <20 | | | 300 |
| 14.10.2001 | <20 | 120 | 70 | 170 | | | | | 150 | | | | <10 | <10 | <20 | 120 | 360 | 150 |
| 19.11.2001 | <20 | 20 | 20 | 50 | | | | | 50 | | | | | | | 60 | 150 | 160 |
| 14.12.2001 | <20 | 70 | 55 | 150 | | | | | 80 | | | | | | | 80 | 230 | 100 |
| 14.08.2002 | <20 | 30 | 60 | 270 | | | | | 170 | | | | <10 | <10 | <10 | 120 | 470 | 70 |
| 14.10.2002 | <20 | 140 | 200 | 500 | | | | | 170 | | | 20 | <10 | 10 | <10 | 300 | 1300 | 200 |
| 30.04.2003 | 10 | 40 | 65 | 170 | | | | | 60 | | | 60 | | | | 130 | 400 | 100 |
| 27.05.2003 | 10 | 30 | 40 | 180 | | | | | 100 | | | 30 | | | | 100 | 300 | 170 |
| 22.07.2003 | <5 | 20 | 30 | 330 | | | | 17 | 100 | | | 5 | 35 | 10 | 25 | 180 | 420 | 120 |
| 04.09.2003 | <5 | 30 | 29 | 350 | | | | 17 | 90 | | | 6 | 70 | 30 | 70 | 220 | 470 | 85 |
| 06.10.2003 | 7 | 50 | 80 | 360 | | | | 15 | 120 | | | 10 | 65 | 30 | 85 | 250 | 550 | 95 |
| 13.11.2003 | <5 | 65 | 110 | 210 | | | | 10 | 70 | | | 6 | 33 | 35 | 37 | 190 | 440 | 125 |
| 15.03.2004 | 20 | 80 | 20 | 115 | | | | <20 | 70 | | | <20 | 25 | 15 | 70 | 190 | 440 | 470 |
| 21.04.2004 | 7 | 18 | 23 | 78 | | | | <10 | 35 | | | <10 | <10 | <10 | <10 | 70 | 155 | 100 |
| 27.05.2004 | <5 | 13 | 26 | 65 | | | | <10 | 35 | | | <10 | <10 | <10 | <10 | 63 | 165 | 40 |
| 21.06.2004 | 12 | 36 | 42 | 170 | | | | <20 | 95 | | | 18 | 18 | 15 | 16 | 190 | 440 | 150 |
| 28.07.2004 | 5 | 45 | 35 | 124 | | | | 9 | 71 | | | 7 | 24 | 8 | 50 | 100 | 300 | 105 |
| 09.09.2004 | 5 | 43 | 22 | 125 | | | | 7 | 40 | | | 6 | 5 | 6 | <5 | 80 | 200 | 200 |
| 18.10.2004 | 7 | 55 | 54 | 100 | | | | 7 | 60 | | | 7 | 8 | <5 | 7 | 85 | 190 | 120 |

Tab. 10: Main bei Marktheidenfeld (Konz. in ng/l) Teil 2

| um | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 01.12.2004 | 21 | 200 | 88 | 100 | | | | 15 | 80 | | | 18 | 8 | <5 | 7 | 160 | 300 | 550 | |
| 26.01.2005 | <10 | 35 | 28 | 35 | | | | 6 | 20 | | | 6 | 13 | 13 | 5 | 27 | 65 | 55 | |
| 02.03.2005 | 8 | 100 | 37 | 100 | | | | <10 | 45 | | | 13 | 55 | 55 | 25 | 70 | 210 | 160 | |
| 24.03.2005 | 6 | 60 | 17 | 85 | | | | <10 | 21 | | | 5 | 11 | | 12 | 55 | 220 | 180 | |
| 28.04.2005 | 7 | 65 | 40 | 110 | | | | 30 | 25 | | | 10 | 45 | 33 | 40 | 90 | 220 | 210 | |
| 25.05.2005 | 8 | 33 | 50 | 130 | | | | 8 | 30 | | | 8 | 15 | 16 | 9 | 110 | 310 | 160 | |
| 28.06.2005 | <5 | 25 | 28 | 160 | | | | 10 | 80 | | | <5 | 24 | 14 | 16 | 120 | 350 | 100 | |
| 26.07.2005 | 5 | 55 | 40 | 160 | | | | 9 | 45 | | | <5 | <5 | <5 | <5 | 170 | 360 | 130 | |
| 30.08.2005 | 8 | 68 | 52 | 140 | | | | 10 | 50 | | <5 | 5 | <5 | <5 | <5 | 130 | 240 | 140 | 70 |
| 27.09.2005 | 5 | 140 | 45 | 145 | | | | 12 | 80 | | 12 | 10 | 20 | 15 | 25 | 40 | 120 | 100 | 40 |
| 08.11.2005 | 16 | 130 | 110 | 150 | | | | 16 | 120 | | | 20 | 20 | 12 | 16 | 230 | 380 | 150 | 60 |
| 08.12.2005 | 20 | 150 | 120 | 240 | | | | 10 | 80 | | | | | | | 200 | 360 | 200 | 70 |
| 21.03.2006 | 12 | 75 | 44 | 55 | | | | <5 | 30 | | 70 | 8 | 50 | 9 | 70 | 70 | 170 | 230 | 90 |
| 13.04.2006 | 9 | 50 | 36 | 52 | | | | 6 | 16 | | 60 | 7 | 30 | 7 | 40 | 60 | 140 | 160 | 60 |
| 17.05.2006 | 5 | 16 | 28 | 80 | | | | 10 | 44 | | <5 | 7 | 6 | 8 | <5 | 100 | 240 | 95 | 40 |
| 13.06.2006 | <5 | 42 | 20 | 52 | | | | 7 | 34 | | <5 | 5 | 10 | 25 | 20 | 70 | 140 | 110 | 55 |
| 17.07.2006 | 5 | 80 | 38 | 120 | | 22 | 15 | 14 | 20 | 6 | 9 | 9 | | | | 140 | 270 | 120 | 80 |
| 18.07.2006 | 9 | 72 | 36 | 150 | | | | 10 | 100 | | | 7 | <5 | | <5 | 150 | 280 | 130 | 60 |
| 13.11.2006 | 10 | 110 | 30 | 140 | | 30 | 23 | 18 | 95 | | 5 | 13 | 30 | 16 | 9 | 210 | 420 | 330 | 60 |
| 15.03.2007 | 6 | 80 | 30 | 50 | 95 | 14 | 10 | 5 | 26 | 15 | 4 | 7 | 24 | 8 | 7 | 85 | 170 | 140 | 52 |
| 12.04.2007 | 7 | 65 | 34 | 80 | 150 | 20 | 12 | 10 | 50 | 20 | <5 | 8 | 20 | 10 | 7 | 120 | 250 | 100 | 38 |
| 04.05.2007 | <5 | 13 | 8 | 100 | 130 | 16 | 11 | 5 | 38 | <5 | | <5 | 5 | | <5 | 100 | 160 | 75 | 23 |
| 14.06.2007 | 5 | 80 | 30 | 92 | 160 | 18 | 13 | 6 | 31 | 9 | <5 | 8 | 7 | 7 | <5 | 120 | 220 | 130 | 30 |
| 11.07.2007 | 10 | 85 | 38 | 88 | 160 | 20 | 13 | 11 | 50 | 11 | <5 | 8 | 10 | <5 | <5 | 120 | 260 | 390 | 80 |
| 07.08.2007 | 6 | 84 | 32 | 100 | 140 | 22 | 12 | 7 | 42 | 8 | | 7 | 6 | 9 | <5 | 130 | 250 | 120 | 45 |
| 04.09.2007 | 5 | 85 | 30 | 100 | 160 | 24 | 15 | 9 | 55 | 9 | <5 | 10 | 12 | <5 | <5 | 130 | 240 | 250 | 50 |
| 11.10.2007 | 7 | 90 | 38 | 80 | 140 | 29 | 13 | 6 | 45 | 9 | <5 | 8 | 14 | 10 | 6 | 120 | 180 | 140 | 50 |
| 13.11.2007 | 10 | 150 | 15 | 130 | 210 | 30 | 19 | 8 | 60 | 15 | | 14 | 22 | 20 | 10 | 190 | 260 | 200 | 50 |
| 09.04.2008 | 6 | 50 | 12 | 40 | 60 | 23 | 19 | <5 | 8 | 11 | <5 | 5 | 11 | 9 | 8 | 190 | 260 | 300 | 100 |
| 07.05.2008 | 0.8 | 50 | 13 | 44 | 88 | 10 | 5 | 3 | 32 | <5 | <5 | 4 | 6 | 24 | 1 | 80 | 150 | 140 | 72 |
| 05.08.2008 | 3 | 100 | 13 | 90 | 200 | 24 | 16 | 6 | 24 | 6 | 6 | 7 | 6 | | <1 | 180 | 290 | 76 | 52 |
| 16.09.2008 | 4 | 150 | 31 | 100 | | 23 | 18 | 14 | 72 | 12 | <5 | 12 | 11 | | 3 | 200 | 310 | | |
| 14.10.2008 | 5 | 160 | 36 | 89 | | 23 | 18 | 12 | 73 | 9 | <5 | 12 | 16 | | 5 | 200 | 290 | | |
| 12.11.2008 | 6 | 160 | 30 | 62 | | 17 | 14 | 7 | 45 | 13 | <5 | 12 | 18 | | 5 | 150 | 230 | | |

Tab. 11: Donau bei Bad Abbach (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | PEMA (Primidon-Metabolit) | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 24.11.2003 | <10 | 20 | 16 | 80 | | | | <10 | <10 | | | <10 | 50 | 4 | 90 | 70 | 170 | 70 | |
| 15.03.2004 | <20 | 35 | <20 | 28 | | | | <20 | <20 | | | <20 | 10 | <10 | <10 | 25 | 90 | 400 | |
| 23.04.2004 | 7 | 16 | 12 | 31 | | | | <10 | 12 | | | 6 | <10 | <10 | <10 | 29 | 66 | 67 | |
| 24.05.2004 | 10 | 18 | 14 | 40 | | | | 9 | 15 | | | <5 | 8 | 8 | 10 | 30 | 49 | 200 | |
| 23.06.2004 | 6 | 13 | 15 | 34 | | | | 9 | 14 | | | <10 | <10 | <10 | <10 | 26 | 64 | 45 | |
| 27.07.2004 | <5 | 10 | 14 | 124 | | | | <5 | 16 | | | 9 | 24 | 10 | <10 | 29 | 72 | 73 | |
| 07.09.2004 | <5 | 13 | 10 | 30 | | | | <5 | 14 | | | <5 | <5 | <5 | <5 | 28 | 60 | 150 | |
| 21.10.2004 | 4 | 18 | 16 | 30 | | | | 5 | 24 | | | 4 | <5 | <5 | <5 | 31 | 93 | 140 | |
| 19.01.2005 | 6 | 38 | 22 | 60 | | | | 18 | 29 | | | 7 | <5 | | 5 | 50 | 150 | 100 | |
| 26.01.2005 | 11 | 50 | 25 | 30 | | | | 8 | 20 | | | 8 | 10 | 13 | 5 | 30 | 70 | 85 | |
| 10.03.2005 | 11 | 44 | 30 | 100 | | | | 27 | 33 | | | <5 | 7 | | 28 | 50 | 150 | 230 | |
| 14.04.2005 | 5 | 20 | 6 | 40 | | | | 80 | 20 | | | 12 | 6 | 30 | <5 | 28 | 85 | 100 | |
| 19.05.2005 | 7 | 21 | 28 | 30 | | | | <5 | 13 | | | 4 | 5 | 5 | <5 | 30 | 90 | 70 | |
| 15.12.2005 | 10 | 55 | 30 | 70 | | | | 5 | 25 | | | <5 | | | | 80 | 170 | 130 | 60 |
| 12.04.2006 | 5 | 32 | 16 | 20 | | | | <5 | 5 | | <5 | 5 | 8 | <5 | <5 | 35 | 70 | 220 | 105 |
| 11.05.2006 | <5 | 20 | 12 | 28 | | | | <5 | 12 | | <5 | 5 | <5 | <5 | <5 | 35 | 85 | 100 | 50 |
| 08.06.2006 | <5 | 16 | 10 | 22 | | | | 5 | 10 | | <5 | <5 | <5 | 12 | 10 | 25 | 65 | 220 | 70 |
| 13.07.2006 | 5 | 8 | 12 | 38 | | | | <5 | 20 | | <5 | <5 | 6 | 9 | <5 | 50 | 120 | 65 | 26 |
| 21.08.2006 | 7 | 60 | 26 | 90 | | 23 | 16 | 10 | 10 | <5 | <5 | 8 | <5 | | <5 | 120 | 220 | 200 | 120 |
| 13.09.2006 | <5 | 17 | 10 | 25 | | | | 5 | <5 | <5 | 5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 70 | 60 | 110 | 40 |
| 13.11.2006 | 6 | 55 | 26 | 60 | | 12 | 10 | 15 | 48 | | 7 | 6 | 11 | 8 | <5 | 95 | 280 | 90 | 52 |
| 19.03.2007 | 6 | 60 | 18 | 36 | 60 | 14 | 7 | 5 | 18 | 7 | <5 | 5 | 12 | 5 | 4 | 60 | 140 | 90 | 40 |
| 26.04.2007 | <5 | 25 | 11 | 55 | 85 | 17 | 10 | 8 | 35 | 6 | <5 | 7 | 5 | <5 | <5 | 70 | 140 | 70 | 26 |
| 24.05.2007 | <5 | 20 | 10 | 40 | 55 | 12 | 7 | 5 | 15 | 6 | | 7 | <5 | <5 | <5 | 50 | 130 | 80 | 30 |
| 20.06.2007 | <5 | 20 | 8 | 34 | 50 | 8 | 6 | <5 | 13 | 3 | | <5 | <5 | <5 | <5 | 50 | 90 | 100 | 30 |
| 19.07.2007 | <5 | 25 | 8 | 27 | 50 | 8 | 5 | 5 | 19 | 3 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 45 | 95 | 90 | 20 |
| 15.08.2007 | 8 | 25 | 9 | 28 | 35 | 7 | 5 | 5 | 10 | <5 | <5 | <5 | <5 | 9 | <5 | 37 | 72 | 100 | 30 |
| 12.09.2007 | <5 | 20 | 8 | 25 | 40 | 7 | 5 | 5 | 13 | <5 | <5 | <5 | 7 | <5 | <5 | 35 | 85 | 70 | 23 |
| 16.10.2007 | <5 | 32 | 13 | 42 | 70 | 13 | 8 | <5 | 22 | 6 | | <5 | 5 | <5 | <5 | 65 | 140 | 230 | 130 |
| 14.11.2007 | 5 | 40 | 14 | 37 | 60 | 11 | 7 | <5 | 15 | 9 | <5 | 5 | 6 | 5 | <5 | 56 | 130 | 180 | 96 |
| 17.04.2008 | 2 | 20 | 5 | 20 | 40 | 6 | 4 | 2 | 10 | 7 | <5 | <5 | <5 | 5 | 6 | 40 | 100 | 120 | 50 |
| 13.05.2008 | 4 | 12 | 3 | 22 | 40 | 6 | 4 | 1 | 12 | <5 | <5 | 1 | <5 | 2 | 6 | 40 | 88 | 60 | 30 |
| 14.08.2008 | <5 | 28 | 6 | 32 | 56 | 7 | 5 | 2 | 20 | 6 | 1 | 2 | 1 | | <5 | 56 | 130 | 76 | 32 |
| 10.09.2008 | <5 | 44 | 9 | 44 | 80 | 12 | 8 | 4 | 20 | 6 | 1 | 2 | 1 | | <5 | 76 | 160 | 80 | 40 |
| 09.10.2008 | 3 | 38 | 28 | 37 | | 11 | 8 | 6 | 28 | 7 | <5 | 5 | 34 | | 2 | 78 | 150 | | |
| 05.11.2008 | 2 | 55 | 12 | 32 | | 10 | 7 | 6 | 22 | 8 | <5 | 7 | 8 | | 3 | 75 | 150 | | |

Tab. 12: Isar bei Plattling (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 25.09.2002 | <20 | <20 | 25 | 100 | | | | <30 | 30 | | | <50 | <10 | <10 | <10 | 20 | 60 | 100 | |
| 15.03.2004 | <20 | 25 | <20 | 50 | | | | <20 | 20 | | | <20 | <10 | <10 | <10 | 35 | 120 | 270 | |
| 19.04.2004 | 10 | 17 | 12 | 32 | | | | 10 | 16 | | | 9 | 8 | 8 | 10 | 29 | 56 | 36 | |
| 24.05.2004 | 10 | 16 | 11 | 26 | | | | 9 | 14 | | | 7 | 8 | 8 | 10 | 20 | 26 | 40 | |
| 23.06.2004 | <10 | 16 | 15 | 32 | | | | <10 | 15 | | | <10 | 12 | <10 | 16 | 20 | 26 | 36 | |
| 26.07.2004 | <5 | 12 | 12 | 32 | | | | <10 | 19 | | | 8 | <10 | <10 | <10 | 25 | 60 | 60 | |
| 09.09.2004 | <5 | 12 | 5 | 30 | | | | <5 | 16 | | | <5 | <5 | <5 | <5 | 18 | 45 | 80 | |
| 21.10.2004 | <5 | 21 | 15 | 38 | | | | 5 | 27 | | | 5 | <5 | 5 | 5 | 27 | 80 | 50 | |
| 23.11.2004 | 5 | 28 | 20 | 30 | | | | 5 | 23 | | | 5 | 6 | 6 | 5 | 28 | 90 | 55 | |
| 06.07.2005 | 6 | 30 | 30 | 70 | | | | 10 | 30 | | | <5 | <5 | <5 | <5 | 70 | 200 | 120 | |
| 23.08.2005 | <5 | 20 | <5 | 60 | | | | 5 | 8 | | | <5 | <5 | <5 | <5 | 12 | 90 | 60 | |
| 07.09.2005 | <5 | 16 | 10 | 20 | | | | 5 | 10 | | | <5 | | <5 | <5 | 12 | 90 | 120 | |
| 27.09.2005 | 5 | 25 | 10 | 45 | | | | 6 | 35 | | <5 | <5 | <5 | 5 | 5 | 40 | 100 | 60 | 30 |
| 15.12.2005 | 8 | 25 | 25 | 45 | | | | 8 | 35 | | | <5 | | | | 50 | 150 | 140 | 70 |
| 12.04.2006 | 6 | 25 | 15 | 24 | | | | <5 | 8 | | 32 | 5 | 28 | 5 | 30 | 20 | 85 | 140 | 75 |
| 10.05.2006 | <5 | 20 | 9 | 30 | | | | 6 | 15 | | <5 | 28 | 5 | <5 | <5 | 20 | 70 | 60 | 35 |
| 07.06.2006 | <5 | 16 | 8 | 28 | | | | 6 | 20 | | <5 | <5 | <5 | 8 | 16 | 18 | 55 | 75 | 40 |
| 12.07.2006 | 6 | 20 | 9 | 200 | | | | 5 | 25 | | <5 | <5 | <5 | 30 | <5 | 45 | 80 | 50 | 40 |
| 21.08.2006 | <5 | 20 | 7 | 30 | | 7 | 5 | 5 | 5 | <5 | <5 | <5 | <5 | | <5 | 30 | 50 | 100 | 130 |
| 12.09.2006 | 6 | 20 | 9 | 30 | | | | 5 | 25 | | | <5 | | | | 45 | 80 | 150 | 40 |
| 13.11.2006 | 8 | 60 | 28 | 64 | | 10 | 8 | 17 | 25 | | 7 | 7 | 10 | <5 | 8 | 70 | 220 | 70 | 39 |
| 19.03.2007 | 6 | 60 | 18 | 55 | 100 | 14 | 8 | 7 | 35 | 9 | <5 | 7 | 7 | 6 | 5 | 60 | 140 | 45 | 40 |
| 16.05.2007 | <5 | 33 | 13 | 48 | 80 | 9 | 8 | 6 | 22 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 50 | 100 | 80 | 40 |
| 14.06.2007 | <5 | 24 | 7 | 48 | 65 | 12 | 7 | 6 | 30 | 5 | | 5 | 6 | | <5 | 44 | 100 | 110 | 50 |
| 18.07.2007 | <5 | 18 | 6 | 35 | 50 | 8 | 8 | 5 | 22 | <5 | | <5 | <5 | 6 | <5 | 40 | 80 | 65 | 20 |
| 15.08.2007 | <5 | 34 | 11 | 44 | 55 | 11 | 6 | 6 | 17 | 6 | <5 | 8 | <5 | <5 | <5 | 36 | 90 | 170 | 52 |
| 12.09.2007 | <5 | 23 | 7 | 26 | 35 | 7 | <5 | 6 | 18 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 25 | 55 | 70 | 20 |
| 15.10.2007 | 5 | 38 | 13 | 45 | 65 | 14 | 7 | 5 | 32 | 6 | | 5 | <5 | <5 | <5 | 55 | 140 | 80 | 55 |
| 07.11.2007 | 8 | 58 | 15 | 40 | 62 | 12 | 7 | 5 | 24 | 8 | <5 | 7 | 7 | 6 | <5 | 48 | 120 | 140 | 78 |
| 16.04.2008 | <5 | 30 | 6 | 28 | 55 | 7 | 4 | 5 | 20 | 4 | <5 | <5 | 6 | <5 | <5 | 38 | 100 | 150 | 60 |
| 13.05.2008 | <5 | 8 | 3 | 28 | 48 | 7 | 4 | 2 | 18 | 70 | <5 | <5 | 1 | | <5 | 40 | 90 | 100 | 40 |
| 13.08.2008 | <5 | 28 | 2 | 30 | 49 | 7 | 4 | 3 | 20 | <5 | <5 | <5 | <5 | | <5 | 32 | 72 | 48 | 24 |
| 09.10.2008 | 3 | 55 | 9 | 34 | | 9 | 7 | 3 | 30 | 5 | <5 | 6 | 6 | | 1 | 53 | 100 | | |
| 05.11.2008 | 3 | 60 | 11 | 39 | | 10 | 7 | 10 | 39 | 5 | <5 | 12 | 9 | | 3 | 55 | 120 | | |

Tab. 13: Amper vor Mündung in die Isar (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 28.06.2005 | 11 | 25 | 36 | 40 | | | | 7 | 23 | | | <5 | <5 | 6 | <5 | 40 | 120 | 80 | |
| 27.07.2005 | 20 | 25 | 20 | 65 | | | | 12 | 15 | | 4 | 10 | <5 | <5 | <5 | 42 | 70 | 85 | 20 |
| 24.08.2005 | 20 | 20 | 20 | 35 | | | | 5 | 12 | | 7 | 7 | <5 | <5 | <5 | 25 | 50 | 1600 | 700 |
| 29.09.2005 | 7 | 38 | 35 | 6 | | | | <5 | 20 | | 9 | 6 | <5 | <5 | <5 | 36 | 90 | 70 | 10 |
| 17.11.2005 | 15 | 35 | 20 | 20 | | | | 6 | 20 | | <5 | 5 | 20 | 30 | 20 | 25 | 80 | 50 | <5 |
| 12.04.2006 | 6 | 20 | 14 | 20 | | | | 12 | 7 | | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 25 | 55 | 65 | 40 |
| 17.05.2006 | <5 | 32 | 16 | 25 | | | | 6 | 12 | | <5 | <5 | 5 | <5 | <5 | 30 | 80 | 95 | 50 |
| 23.06.2006 | <5 | 26 | 14 | 22 | | | | 5 | 10 | | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 35 | 90 | 100 | 70 |
| 13.07.2006 | <5 | 22 | 10 | 40 | | | | 7 | 10 | | <5 | 5 | 5 | 20 | <5 | 30 | 80 | 50 | 15 |
| 14.09.2006 | <5 | 22 | 10 | 28 | | <5 | <5 | 6 | <5 | <5 | <5 | <5 | 5 | <5 | <5 | 30 | 80 | 50 | 29 |
| 13.10.2006 | <5 | 30 | 14 | 35 | | | | 5 | 5 | <5 | <5 | 5 | 5 | <5 | <5 | 45 | 100 | 50 | 48 |
| 28.03.2007 | <5 | 38 | 16 | 42 | 80 | 12 | 6 | 6 | 17 | <5 | | 5 | 10 | 5 | <5 | 50 | 100 | 50 | 22 |
| 28.04.2007 | <5 | 24 | 9 | 18 | 32 | <5 | <5 | <5 | 10 | <5 | 5 | <5 | 5 | <5 | <5 | 25 | 50 | 50 | 50 |
| 16.05.2007 | <5 | 35 | 13 | 36 | 65 | 10 | 6 | 5 | 11 | <5 | 5 | 5 | 5 | <5 | <5 | 45 | 100 | 40 | 18 |
| 14.06.2007 | <5 | 32 | 12 | 48 | 72 | 11 | 8 | 6 | 21 | 6 | <5 | <5 | 5 | <5 | <5 | 40 | 90 | 38 | 15 |
| 19.07.2007 | <5 | 27 | 9 | 35 | 60 | 10 | 6 | 5 | 15 | <5 | <5 | 5 | <5 | <5 | <5 | 40 | 80 | 300 | 100 |
| 23.08.2007 | <5 | 23 | 10 | 37 | 60 | 8 | 5 | 5 | 16 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 33 | 70 | 50 | 20 |
| 19.09.2007 | <5 | 25 | 10 | 37 | 60 | 10 | 6 | 5 | 16 | <5 | <5 | 6 | <5 | <5 | <5 | 40 | 100 | 70 | 30 |
| 17.10.2007 | <5 | 30 | 10 | 30 | 64 | 9 | 6 | <5 | 22 | <5 | <5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 40 | 90 | 80 | 30 |
| 21.11.2007 | <5 | 36 | 10 | 30 | 55 | 8 | 6 | 6 | 17 | <5 | 8 | 5 | 14 | 9 | 6 | 45 | 90 | 130 | 30 |
| 12.03.2008 | <5 | 25 | 8 | 24 | 56 | 8 | 4 | 2 | 20 | <5 | <5 | <5 | 8 | | <5 | 44 | 110 | 110 | 40 |
| 30.04.2008 | <5 | 24 | 5 | 16 | 32 | <5 | <5 | <5 | 10 | <5 | <5 | <5 | 6 | 5 | <5 | 30 | 80 | 120 | 30 |
| 05.06.2008 | <5 | 28 | 5 | 28 | 30 | <5 | <5 | <5 | 12 | <5 | <5 | <5 | <5 | | <5 | 48 | 100 | 56 | 30 |
| 23.07.2008 | <5 | 40 | 7 | 25 | 52 | 6 | 4 | 4 | 16 | <5 | <5 | 4 | | | 2 | 44 | 120 | 76 | 44 |
| 23.09.2008 | <5 | 28 | 12 | 39 | 46 | 29 | 16 | 14 | 20 | <20 | <20 | 26 | <20 | | <20 | 40 | 72 | 20 | 61 |

Tab. 14: Würm vor Mündung in die Amper (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 22.04.2004 | 34 | 80 | 36 | 87 | | | | 47 | 80 | | | 54 | 67 | 80 | 67 | 83 | 130 | 95 | |
| 25.05.2004 | 22 | 42 | <5 | 50 | | | | <5 | 26 | | | 14 | 16 | 14 | 10 | 56 | 130 | 800 | |
| 16.06.2004 | <5 | 44 | 22 | 60 | | | | <5 | 26 | | | 10 | 46 | 13 | 68 | 45 | 130 | 400 | |
| 21.07.2004 | <5 | 44 | 20 | 52 | | | | <5 | 46 | | | 14 | 16 | 14 | 10 | 46 | 140 | 140 | |
| 19.08.2004 | <5 | 52 | 30 | 60 | | | | <5 | 38 | | | 14 | 24 | 14 | 28 | 54 | 165 | 75 | |
| 22.09.2004 | 7 | 220 | 44 | 92 | | | | 7 | 34 | | | 17 | 5 | <5 | 5 | 170 | 400 | 210 | |
| 24.11.2004 | 10 | 170 | 50 | 90 | | | | 9 | 70 | | | 30 | 31 | 10 | 30 | 35 | 130 | 130 | |
| 19.01.2005 | 15 | 260 | 70 | 170 | | | | 60 | 130 | | | 35 | 17 | 27 | 27 | 190 | 630 | 850 | |
| 22.03.2005 | 10 | 170 | 20 | 80 | | | | <5 | 40 | | | 22 | 19 | 8 | 20 | 75 | 220 | 28 | |
| 13.04.2005 | 5 | 70 | 20 | 35 | | | | 5 | 25 | | <5 | 8 | 14 | 5 | 12 | 40 | 140 | 120 | 90 |
| 28.04.2005 | 8 | 150 | 34 | 180 | | | | 60 | 160 | | | 24 | 10 | 5 | 8 | 80 | 280 | 700 | |
| 24.05.2005 | 16 | 150 | 40 | 120 | | | | 5 | 60 | | | 20 | 20 | 20 | 5 | 120 | 380 | 150 | |
| 28.06.2005 | <5 | 95 | 40 | 110 | | | | 110 | 25 | | | 8 | 23 | 25 | 22 | 120 | 340 | 300 | |
| 27.07.2005 | 6 | 70 | 23 | 80 | | | | 10 | 40 | | | 6 | <5 | <5 | <5 | 60 | 260 | 35 | |
| 24.08.2005 | 20 | 55 | 25 | 34 | | | | 12 | 20 | | | 15 | <5 | <5 | <5 | 50 | 75 | 250 | 150 |
| 29.09.2005 | <5 | 90 | 24 | 60 | | | | 7 | 28 | | | 15 | 24 | 13 | 28 | 95 | 300 | 150 | 50 |
| 17.11.2005 | <5 | 110 | 25 | 40 | | | | 10 | 35 | | | 8 | 12 | 5 | 5 | 100 | 240 | 400 | |
| 17.05.2006 | <5 | 90 | 20 | 45 | | | | 7 | 18 | | <5 | 9 | 6 | <5 | <5 | 52 | 160 | 130 | 70 |
| 23.06.2006 | <5 | 100 | 24 | 60 | | | | 10 | 24 | | <5 | 10 | 10 | 6 | 5 | 70 | 230 | 950 | 450 |
| 13.07.2006 | 5 | 100 | 22 | 50 | | | | 10 | 30 | | 10 | 12 | 15 | 35 | 10 | 70 | 180 | 50 | 20 |
| 17.08.2006 | 5 | 90 | 22 | 55 | | 15 | 10 | 8 | 7 | | 50 | 11 | | | | 75 | 160 | 24 | 11 |
| 14.09.2006 | <5 | 100 | 20 | 65 | | 9 | 12 | 8 | 10 | | <5 | 7 | 10 | 6 | 5 | 80 | 350 | 150 | 60 |
| 16.10.2006 | 5 | 130 | 30 | 60 | | | | 6 | 12 | 7 | 15 | 8 | | | | 170 | 220 | 44 | 24 |
| 28.03.2007 | 5 | 130 | 18 | 70 | | 40 | 15 | 5 | 30 | 4 | 11 | 10 | 20 | 10 | 5 | 80 | 100 | 160 | 15 |
| 19.04.2007 | 5 | 110 | 20 | 80 | 170 | 28 | 20 | 5 | 35 | <5 | 7 | 11 | 14 | 6 | <5 | 72 | 100 | 240 | 110 |
| 16.05.2007 | 7 | 170 | 28 | 150 | 150 | 45 | 30 | 10 | 44 | 5 | <5 | 18 | 20 | 8 | <5 | 150 | 180 | 70 | 40 |
| 14.06.2007 | 5 | 120 | 22 | 110 | 170 | 30 | 20 | 8 | 40 | 5 | 9 | 20 | 9 | 11 | <5 | 100 | 180 | 240 | 100 |
| 19.07.2007 | 6 | 120 | 20 | 110 | 220 | 35 | 22 | 8 | 40 | 5 | <5 | 16 | 13 | 8 | <5 | 100 | 120 | 600 | 300 |
| 23.08.2007 | 5 | 85 | 15 | 82 | 120 | 24 | 13 | 7 | 35 | 5 | <5 | 9 | 9 | 5 | <5 | 85 | 140 | 450 | 270 |
| 17.10.2007 | 5 | 110 | 20 | 80 | 140 | 45 | 12 | 40 | 52 | <5 | <5 | 10 | 11 | 15 | <5 | 90 | 180 | 280 | 110 |
| 21.11.2007 | 10 | 140 | 20 | 70 | 150 | 25 | 15 | 5 | 40 | 10 | | 10 | 15 | 14 | 5 | 90 | 150 | 150 | 20 |
| 13.03.2008 | 2 | 160 | 20 | 120 | 280 | 36 | 24 | 6 | 80 | <5 | 1 | 16 | 2 | 10 | 1 | 180 | 400 | 120 | 52 |
| 30.04.2008 | <5 | 140 | 20 | 70 | 150 | 25 | 15 | 5 | 40 | 10 | | 10 | 15 | 14 | 5 | 90 | 150 | 150 | 20 |
| 05.06.2008 | 4 | 110 | 12 | 92 | 180 | 26 | 18 | 5 | 24 | <5 | 4 | 11 | 2 | | <5 | 110 | 160 | 52 | 32 |
| 23.07.2008 | 6 | 160 | 12 | 80 | 180 | 24 | 16 | 8 | 60 | <5 | 12 | 16 | | | 4 | 140 | 260 | 240 | 160 |
| 23.09.2008 | <5 | 160 | 17 | 75 | 130 | 33 | 24 | 14 | 40 | <5 | 12 | 10 | <5 | | <5 | 54 | 150 | 20 | 20 |
| 17.11.2008 | <5 | 160 | 13 | 75 | | 27 | 20 | 8 | 45 | 3 | 17 | 14 | <5 | | <5 | 140 | 230 | 50 | 26 |

Tab. 15: Ebrach nach Einleitung der Kläranlage Ebersberg (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 12.04.2006 | <5 | 55 | 25 | 45 | | | | 5 | 14 | | 5 | 6 | 24 | 5 | 13 | 50 | 130 | 95 | 65 |
| 18.05.2006 | 50 | 36 | 130 | 30 | | | | 7 | 16 | | 7 | 18 | 7 | 10 | <5 | 60 | 140 | 120 | 90 |
| 20.06.2006 | 16 | 250 | 160 | 280 | | | | 30 | 75 | | <5 | 20 | 70 | 30 | 70 | 500 | 1300 | 1300 | 760 |
| 12.07.2006 | 5 | 220 | 90 | 290 | | | | 20 | 80 | | <5 | 100 | 20 | 70 | 20 | 410 | 900 | 850 | 340 |
| 16.08.2006 | <5 | 45 | 45 | 50 | | | | 15 | 20 | 15 | | 4 | | | | 110 | 200 | 70 | 25 |
| 13.09.2006 | 25 | 350 | 200 | 400 | | 110 | 70 | 55 | 40 | 80 | | 28 | 30 | 70 | 55 | 750 | 1400 | 2500 | 350 |
| 07.11.2006 | 40 | 740 | 500 | 600 | | 55 | 28 | 65 | 250 | 290 | | 90 | 110 | 110 | 190 | 1250 | 3300 | 800 | 640 |
| 29.03.2007 | 7 | 630 | 190 | 500 | 1000 | 40 | 25 | 44 | 260 | 70 | 380 | 55 | 130 | 200 | 110 | 1100 | 2200 | 600 | 390 |
| 19.04.2007 | 20 | 800 | 160 | 900 | 1300 | 40 | 35 | 80 | 140 | 55 | 60 | 50 | 360 | 75 | 300 | 1250 | 1900 | 550 | 240 |
| 14.05.2007 | 4 | 270 | 50 | 180 | 380 | 9 | 8 | 13 | 65 | 30 | 24 | 20 | 40 | 20 | 35 | 270 | 520 | 170 | 80 |
| 13.06.2007 | 10 | 300 | 52 | 220 | 300 | 9 | 7 | 28 | 70 | 55 | 20 | 28 | 50 | 12 | 50 | 400 | 660 | 630 | 300 |
| 18.07.2007 | 8 | 220 | 82 | 220 | 420 | 12 | 11 | 40 | 75 | 25 | 20 | 50 | 70 | 65 | 55 | 520 | 1000 | 130 | 60 |
| 23.08.2007 | <5 | 85 | 30 | 65 | 110 | 5 | 5 | 8 | 40 | 15 | <5 | 8 | 12 | 9 | 7 | 170 | 310 | 70 | 60 |
| 20.09.2007 | <5 | 60 | 20 | 45 | 75 | 5 | <5 | 7 | 50 | 21 | <5 | 9 | 8 | 12 | 7 | 130 | 210 | 150 | 50 |
| 18.10.2007 | 24 | 570 | 170 | 540 | 900 | 20 | 23 | 50 | 95 | 190 | 130 | 45 | 250 | 150 | 60 | 1300 | 1700 | 400 | 190 |
| 22.11.2007 | 17 | 400 | 120 | 250 | 550 | 15 | 14 | 20 | 130 | 70 | 30 | 28 | 150 | 40 | 65 | 940 | 1100 | 400 | 200 |
| 12.03.2008 | 6 | 600 | 120 | 300 | 720 | 20 | 16 | 40 | 100 | <5 | 110 | 48 | 240 | 32 | 70 | 700 | 1400 | 250 | 280 |
| 30.04.2008 | 16 | 240 | 20 | 80 | 200 | 24 | 8 | 8 | 80 | 70 | 24 | 28 | | | 16 | 700 | 1400 | 1400 | 800 |
| 05.06.2008 | 8 | 200 | 24 | 110 | 180 | 4 | 1 | 14 | 40 | <5 | 24 | 19 | 36 | | 30 | 440 | 800 | 360 | 200 |
| 23.07.2008 | 5 | 110 | 21 | 36 | 80 | 7 | 6 | 5 | 30 | | 7 | 12 | | | 9 | 340 | 700 | 600 | 300 |
| 23.09.2008 | 6 | 500 | 75 | 230 | 460 | 26 | 29 | 52 | 24 | 95 | 32 | 60 | 60 | 73 | 48 | 900 | 1700 | 450 | 430 |
| 17.11.2008 | 5 | 360 | 30 | 110 | | 11 | 10 | 18 | 170 | 100 | 60 | 40 | 80 | | 20 | 780 | 1000 | 200 | 170 |

Tab. 16: Murn vor Mündung in den Inn (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | Triamteren | Sulfamethoxazol | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein |
|------------|----------|------------|---------|--------------|------------|-----------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| 06.03.2002 | 10 | | 20 | 40 | <30 | 15 | <50 | <10 | <10 | <10 | 80 | 250 | 500 |
| 08.04.2002 | 10 | 20 | 35 | 30 | <30 | <20 | <50 | <10 | <10 | 50 | 70 | 150 | 450 |
| 01.10.2002 | <20 | <20 | <20 | 20 | <30 | 20 | <50 | <10 | <10 | <10 | 20 | 50 | 20 |
| 15.03.2004 | <20 | <20 | 20 | <10 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 | 17 | 50 | 120 |
| 21.04.2004 | 34 | 40 | <10 | 74 | 47 | 74 | 54 | 67 | 74 | 67 | 83 | 95 | 120 |
| 15.06.2004 | <10 | <10 | 12 | 20 | <10 | 14 | 12 | <10 | <10 | <10 | 22 | 33 | 470 |
| 20.07.2004 | <10 | <10 | <10 | 16 | <10 | 12 | <10 | 38 | 10 | 50 | 20 | 34 | 75 |
| 18.08.2004 | <10 | <10 | <10 | 16 | <10 | 5 | <10 | <10 | <10 | <10 | 23 | 60 | 95 |
| 23.09.2004 | <10 | <10 | <10 | 20 | <10 | 15 | <10 | <10 | <10 | <10 | 35 | 90 | 80 |
| 23.10.2004 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | 17 | 50 | 120 |
| 23.11.2004 | <10 | <10 | <10 | 10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | 20 | 45 | 160 |
| 23.03.2005 | <10 | <10 | <10 | 13 | <10 | <10 | <10 | 15 | 20 | <10 | 20 | 40 | 130 |
| 27.04.2005 | <10 | <10 | <10 | 20 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | 30 | 40 | 50 |
| 24.05.2005 | <5 | <5 | <5 | 9 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 22 | 45 | 62 |
| 29.06.2005 | <5 | 6 | <5 | 16 | <5 | 8 | <5 | <5 | <5 | <5 | 80 | 120 | 130 |
| 26.07.2005 | <5 | 5 | <5 | 25 | 5 | 8 | 40 | <5 | <5 | <5 | | | |
| 25.08.2005 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 9 | 12 | 13 | | | 210 |
| 28.09.2005 | <5 | 5 | 5 | 25 | 5 | 8 | 5 | 120 | 100 | 120 | 25 | 70 | 100 |
| 16.11.2005 | <5 | 6 | <5 | 7 | <5 | 10 | <5 | <5 | <5 | <5 | 130 | 240 | 60 |

Tab. 17: Kläranlagenablauf München 2 (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| 19.01.2005 | 25 | 850 | 800 | 1200 | | | | 1000 | 750 | | | 550 | 150 | 150 | 250 | 1650 | 6000 | 200 | |
| 22.03.2005 | 110 | 3500 | 580 | 1500 | | | | 500 | 850 | | | 550 | 370 | | 300 | 2100 | 6700 | 72 | |
| 28.04.2005 | 120 | 3100 | 290 | | | | | 700 | 730 | | | 260 | 190 | 180 | 130 | 1350 | 4400 | 60 | |
| 24.05.2005 | 150 | 1100 | 520 | 700 | | | | 75 | 660 | | | 150 | 180 | 160 | 100 | 1200 | 4000 | 1500 | |
| 28.06.2005 | 90 | 1200 | 760 | 1100 | | | | 200 | 580 | | | 100 | | | | 1000 | 3500 | 350 | |
| 27.07.2005 | 60 | 700 | 400 | 750 | | | | 120 | 400 | | | 90 | 200 | 180 | 90 | 850 | 2100 | 80 | |
| 24.08.2005 | 20 | 380 | 160 | 230 | | | | 45 | 230 | | | 30 | 30 | 5 | 35 | 450 | 1100 | 80 | |
| 17.11.2005 | 180 | 1100 | 600 | 700 | | | | 250 | 500 | | 240 | 200 | 300 | 400 | 180 | 1000 | 2700 | 60 | |
| 12.04.2006 | 170 | 1100 | 350 | 400 | | | | 90 | 500 | | 200 | 130 | 250 | 110 | 120 | 370 | 1100 | 60 | 70 |
| 17.05.2006 | 140 | 950 | 300 | 650 | | | | 140 | 260 | | 180 | 80 | 110 | 70 | 70 | 330 | 1000 | 60 | 50 |
| 23.06.2006 | 120 | 1200 | 330 | 650 | | | | 190 | 300 | | 400 | 80 | 150 | 200 | 200 | 400 | 1300 | 100 | 65 |
| 13.07.2006 | 150 | 900 | 360 | 630 | | | | 150 | 360 | | 100 | 85 | 100 | 450 | 40 | 400 | 1300 | 260 | 150 |
| 17.08.2006 | 160 | 750 | 380 | 450 | | 200 | 140 | 120 | 140 | 150 | | 40 | | | | 480 | 1100 | 40 | 35 |
| 14.09.2006 | 180 | 1400 | 450 | 750 | | 500 | 75 | 200 | 120 | 100 | 380 | 60 | 170 | 50 | 220 | 750 | 2400 | 65 | 75 |
| 16.10.2006 | 200 | 1200 | 600 | 830 | | | | 190 | 120 | 80 | <5 | 100 | | | | 2600 | 7000 | 68 | 80 |
| 28.03.2007 | 70 | 1800 | 370 | 1100 | 2500 | 300 | 220 | 160 | 700 | 250 | 300 | 240 | 350 | 160 | 140 | 900 | 3300 | 110 | 45 |
| 19.04.2007 | 120 | 1800 | 410 | 1000 | 1900 | 330 | 230 | 160 | 450 | 220 | 180 | 290 | 350 | 90 | 150 | 470 | 2100 | 120 | 90 |
| 16.05.2007 | 120 | 1000 | 450 | 870 | 850 | 250 | 180 | 150 | 450 | 130 | 120 | 190 | 230 | 140 | 100 | 700 | 2100 | 110 | 75 |
| 14.06.2007 | 100 | 1100 | 250 | 700 | 1200 | 160 | 130 | 140 | 280 | 100 | 90 | 110 | 110 | 100 | 40 | 500 | 1600 | 100 | 110 |
| 19.07.2007 | 85 | 560 | 220 | 870 | 1700 | 270 | 150 | 160 | 450 | 35 | 200 | 120 | 160 | 170 | 60 | 850 | 3000 | 40 | 50 |
| 23.08.2007 | | | | 680 | 1200 | 220 | 160 | 100 | 230 | 50 | | 95 | 95 | 100 | 20 | 620 | 2200 | 90 | 33 |
| 19.09.2007 | 110 | 750 | 190 | 450 | 800 | 110 | 70 | 80 | 250 | 80 | 130 | 60 | 200 | 100 | 40 | 500 | 1600 | 80 | 100 |
| 17.10.2007 | 160 | 1400 | 400 | 850 | 1500 | 210 | 170 | 160 | 560 | 210 | 850 | 120 | 600 | 380 | 280 | 1700 | 4600 | 70 | 35 |
| 21.11.2007 | 230 | 1800 | 400 | 760 | 1900 | 220 | 170 | 140 | 700 | 350 | 650 | 130 | 400 | 320 | 160 | 800 | 2500 | 110 | 50 |
| 26.02.2008 | 110 | 1100 | 370 | 770 | 1800 | 210 | 190 | 140 | 300 | 165 | 850 | <50 | 440 | 180 | 120 | 1600 | 4500 | 310 | 50 |
| 12.03.2008 | 80 | 950 | 200 | 440 | 1200 | 140 | 120 | 75 | 400 | <100 | 160 | 100 | 300 | | 100 | 800 | 2000 | 100 | 80 |
| 05.06.2008 | 40 | 560 | 100 | 400 | 760 | 72 | 64 | 75 | 110 | <100 | 68 | 56 | 84 | | 40 | 480 | 1400 | 48 | 40 |
| 23.07.2008 | 100 | 1500 | 240 | 620 | 1200 | 150 | 140 | 140 | 450 | <100 | 400 | 120 | | | 90 | 1000 | 2200 | 110 | 120 |
| 13.08.2008 | 100 | 900 | 180 | 510 | 1000 | 130 | 80 | 100 | 490 | <100 | 220 | <50 | 72 | | <50 | 750 | 1100 | 100 | <50 |
| 23.09.2008 | 120 | 1800 | 210 | 610 | 1500 | 150 | 110 | 190 | 220 | 26 | 300 | 200 | 110 | 130 | 95 | 640 | 100 | 80 | 140 |

Tab. 18: Kläranlagenablauf Geiselbullach (Konz. in ng/l)

| Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | 2-Ethyl-2-phenylmalonamid | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein | Dimethyl-1,7-Xanthin | |
|------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------|--|
| 21.04.2004 | 240 | 2000 | 1680 | 570 | | | | 170 | 190 | | | 55 | 185 | 130 | 259 | 430 | 1100 | 140 | | |
| 25.05.2004 | 180 | 2700 | 2100 | 720 | | | | 160 | 210 | | | 61 | 75 | 55 | 60 | 370 | 750 | 48 | | |
| 16.06.2004 | 100 | 2700 | 1500 | 1300 | | | | 160 | 150 | | | 72 | 80 | 72 | 88 | 640 | 1600 | 80 | | |
| 21.07.2004 | 175 | 4800 | 2000 | 1100 | | | | 160 | 300 | | | 100 | 105 | 55 | 130 | 640 | 1600 | 100 | | |
| 19.08.2004 | 140 | 2400 | 2600 | 900 | | | | 120 | 290 | | | 120 | 120 | 80 | 80 | 500 | 1800 | 70 | | |
| 22.09.2004 | 100 | 3000 | 2100 | 1750 | | | | 50 | 470 | | | 150 | 50 | 50 | 75 | 1000 | 3000 | 700 | | |
| 27.10.2004 | 90 | 850 | 700 | 680 | | | | 110 | 110 | | | 70 | 70 | 40 | 60 | 540 | 1300 | 40 | | |
| 25.11.2004 | 160 | 3800 | 2400 | 1500 | | | | 500 | 220 | | | 80 | 90 | 60 | 50 | 500 | 1400 | 400 | | |
| 19.01.2005 | 150 | 2000 | 1500 | 650 | | | | 500 | 180 | | | 85 | 65 | 30 | 250 | 1000 | 3200 | 60 | | |
| 22.03.2005 | 150 | 2100 | 800 | 1400 | | | | 650 | 390 | | | 280 | 320 | | 200 | 900 | 3200 | 50 | | |
| 28.04.2005 | 110 | 2500 | 500 | 1200 | | | | 500 | 210 | | | 220 | 230 | 310 | 170 | 1000 | 3500 | 95 | | |
| 24.05.2005 | 120 | 1300 | 800 | 1200 | | | | 250 | 320 | | | 70 | 200 | 190 | 120 | 900 | 2600 | 130 | | |
| 24.06.2005 | 65 | 1100 | 890 | 1200 | | | | 250 | 380 | | | 100 | | | | 750 | 3000 | 100 | | |
| 27.07.2005 | 25 | 900 | 620 | 1000 | | | | 180 | 260 | | | 75 | 135 | 130 | 60 | 670 | 1600 | 850 | | |
| 29.08.2005 | 50 | 850 | 500 | 800 | | | | 170 | 280 | | | 90 | 160 | 200 | 60 | 300 | 1200 | 50 | | |
| 29.09.2005 | 190 | 1500 | 1300 | 340 | | | | 350 | 260 | 70 | 140 | 200 | 300 | 150 | 800 | 2000 | 35 | 18 | | |
| 17.11.2005 | 60 | 1200 | 650 | 480 | | | | 230 | 280 | | | 100 | 160 | 60 | 30 | 800 | 2400 | 35 | | |
| 12.04.2006 | 80 | 660 | 400 | 450 | | | | 120 | 140 | | | 80 | 270 | 80 | 120 | 440 | 1200 | 50 | | |
| 17.05.2006 | 100 | 1100 | 450 | 840 | | | | 180 | 200 | 240 | 70 | 130 | 70 | 30 | 600 | 1800 | 50 | 50 | | |
| 23.06.2006 | 65 | 1300 | 420 | 900 | | | | 250 | 260 | 380 | 70 | 140 | 200 | 170 | 800 | 2200 | 200 | 150 | | |
| 13.07.2006 | 90 | 1300 | 750 | 1000 | | 210 | 120 | 330 | 140 | 43 | 150 | 150 | 800 | 30 | 1100 | 2000 | 60 | 50 | | |
| 17.08.2006 | 80 | 750 | 500 | 500 | | | | 140 | 140 | | | 50 | | | | 550 | 1300 | 35 | 60 | |
| 14.09.2006 | 65 | 1400 | 230 | 900 | | 550 | 70 | 250 | 140 | | 130 | 95 | | | | 1000 | 2700 | 110 | 70 | |
| 16.10.2006 | 95 | 1300 | 580 | 700 | | | | 250 | 110 | | 30 | 150 | | | | 1200 | 3500 | 100 | 80 | |
| 23.03.2007 | 65 | 1700 | 420 | 1200 | 2200 | 320 | 120 | 180 | 250 | 7 | 130 | 110 | 220 | 190 | 70 | 1000 | 3000 | 140 | 100 | |
| 19.04.2007 | 70 | 2300 | 550 | 1100 | 2600 | 250 | 160 | 190 | 400 | 20 | 200 | 150 | 360 | 150 | 50 | 1300 | 3800 | 90 | 35 | |
| 16.05.2007 | 110 | 1650 | 600 | 900 | 2000 | 250 | 150 | 200 | 400 | 10 | 180 | 200 | 290 | 200 | 90 | 1150 | 3500 | 50 | 32 | |
| 14.06.2007 | 90 | 1400 | 480 | 1100 | 1800 | 160 | 110 | 200 | 330 | <5 | 70 | 120 | 60 | 70 | 24 | 1100 | 3300 | 50 | 25 | |
| 19.07.2007 | 120 | 1400 | 540 | 1100 | 1900 | 200 | 130 | 220 | 250 | <5 | 180 | 200 | 100 | 120 | 30 | 1100 | 3300 | 50 | 40 | |
| 23.08.2007 | 160 | 1500 | 580 | 1100 | 1600 | 210 | 120 | 220 | 400 | <5 | 100 | 170 | 140 | 130 | 40 | 850 | 2700 | 60 | 35 | |
| 19.09.2007 | 45 | 1200 | 440 | 900 | 1700 | 190 | 120 | 170 | 470 | 10 | 300 | 190 | 140 | 140 | 40 | 800 | 3000 | 140 | 130 | |
| 17.10.2007 | 120 | 1400 | 480 | 800 | 1800 | 190 | 110 | 180 | 320 | <5 | 500 | 200 | 400 | 270 | 140 | 850 | 2800 | 35 | 45 | |
| 21.11.2007 | 130 | 1500 | 500 | 850 | 1700 | 200 | 130 | 170 | 300 | 20 | 500 | 250 | 550 | 220 | 130 | 820 | 2500 | 35 | 30 | |
| 12.03.2008 | 60 | 900 | 240 | 520 | 1200 | 120 | 80 | 100 | 200 | <50 | 160 | 52 | 200 | | 72 | 680 | 2000 | 56 | 36 | |
| 30.04.2008 | 130 | 950 | 400 | 580 | 1200 | 70 | <100 | 80 | 200 | <100 | 25 | 80 | 100 | 830 | 20 | 600 | 2000 | 15 | 20 | |
| 05.06.2008 | 40 | 920 | 240 | 560 | 1200 | 100 | 80 | 110 | 160 | <50 | 88 | 40 | 88 | | 40 | 800 | 2000 | 52 | 32 | |
| 23.07.2008 | 56 | 2000 | 440 | 1000 | 2000 | 160 | 160 | 200 | 360 | <50 | 540 | 280 | | | 140 | 1400 | 2000 | 56 | 48 | |
| 23.09.2008 | 120 | 1900 | 560 | 800 | | 250 | 180 | 300 | 280 | <50 | 450 | 200 | 470 | 260 | 130 | 1100 | 3800 | 130 | 110 | |

Tab. 19: Statistik der Arzneimittelkonzentrationen der Fließgewässer in ng/l

| Gewässer | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | PEMA (Primidon-Metabolit) | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin |
|----------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| Main | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 57 | 57 | 57 | 57 | 12 | 17 | 17 | 45 | 57 | 16 | 20 | 47 | 50 | 44 | 51 | 52 | 52 |
| Min | < BG | 13 | < BG | 35 | 60 | 10 | 5 | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | 27 | 65 |
| Max | 25 | 200 | 200 | 500 | 210 | 30 | 23 | 30 | 200 | 20 | 70 | 60 | 70 | 300 | 85 | 300 | 1300 |
| Median | 6 | 65 | 36 | 100 | 145 | 22 | 14 | 8 | 50 | 9 | < BG | 7 | 12.5 | 9.5 | 6 | 120 | 260 |
| Donau | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 36 | 36 | 36 | 36 | 13 | 17 | 17 | 36 | 36 | 17 | 19 | 36 | 35 | 28 | 35 | 36 | 36 |
| Min | < BG | 8 | < BG | 20 | 35 | 6 | 4 | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | 25 | 49 |
| Max | 11 | 60 | 30 | 124 | 85 | 23 | 16 | 80 | 48 | 9 | 7 | 12 | 50 | 30 | 90 | 120 | 280 |
| Median | 3.5 | 23 | 12 | 34 | 55 | 11 | 7 | 5 | 15 | 6 | < BG | 2 | 5 | < BG | < BG | 47.5 | 94 |
| Isar | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 35 | 35 | 35 | 35 | 12 | 16 | 16 | 35 | 35 | 15 | 18 | 35 | 32 | 27 | 33 | 35 | 35 |
| Min | < BG | < BG | < BG | 20 | 35 | 7 | < BG | < BG | 5 | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | 12 | 26 |
| Max | 10 | 60 | 30 | 200 | 100 | 14 | 8 | 17 | 39 | 70 | 32 | 28 | 28 | 30 | 30 | 70 | 220 |
| Median | < BG | 24 | 11 | 35 | 58.5 | 9.5 | 7 | 5 | 22 | 5 | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | 36 | 90 |
| Amper | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 25 | 25 | 25 | 25 | 14 | 15 | 15 | 25 | 25 | 16 | 23 | 25 | 24 | 21 | 25 | 25 | 25 |
| Min | < BG | 20 | < BG | 6 | 30 | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | < BG | 25 | 50 |
| Max | 20 | 40 | 36 | 65 | 80 | 29 | 16 | 14 | 23 | 6 | 9 | 26 | 20 | 30 | 20 | 50 | 120 |
| Median | < BG | 27 | 11 | 30 | 58 | 8 | 6 | 5 | 15 | < BG | < BG | 5 | 5 | < BG | < BG | 40 | 90 |
| Würm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 25 | 37 | 36 | 37 | 12 | 16 | 16 | 32 | 37 | 9 | 11 | 37 | 30 | 27 | 23 | 37 | 37 |
| Min | < BG | 42 | < BG | 34 | 120 | 9 | 10 | 5 | 7 | 3 | 1 | 6 | 2 | 5 | 1 | 35 | 75 |
| Max | 34 | 260 | 70 | 180 | 280 | 45 | 30 | 110 | 160 | 10 | 50 | 54 | 67 | 80 | 68 | 190 | 630 |
| Median | 6 | 110 | 22 | 75 | 160 | 27.5 | 17 | 8 | 38 | 5 | 11 | 12 | 15 | 11 | 10 | 83 | 180 |
| Ebrach | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 22 | 22 | 22 | 22 | 14 | 17 | 17 | 22 | 22 | 17 | 19 | 22 | 19 | 17 | 21 | 22 | 22 |
| Min | < BG | 36 | 20 | 30 | 75 | 4 | < BG | 5 | 14 | < BG | < BG | 4 | 7 | 5 | < BG | 50 | 130 |
| Max | 50 | 800 | 500 | 900 | 1300 | 110 | 70 | 80 | 260 | 290 | 380 | 100 | 360 | 200 | 300 | 1300 | 3300 |
| Median | 8 | 250 | 82 | 220 | 400 | 15 | 11 | 20 | 75 | 55 | 24 | 28 | 60 | 36 | 49 | 510 | 1000 |
| Murn | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 19 | 18 | 19 | 19 | | | | 19 | 19 | | | 19 | 19 | 19 | 19 | 17 | 17 |
| Min | < BG | < BG | < BG | < BG | | | | < BG | < BG | | | < BG | < BG | < BG | < BG | 17 | 33 |
| Max | 34 | 40 | 35 | 74 | | | | 47 | 74 | | | 54 | 120 | 100 | 120 | 130 | 250 |
| Median | < BG | < BG | < BG | 16 | | | | < BG | 8 | | | < BG | < BG | < BG | < BG | 23 | 50 |

Tab. 20: Statistik der Arzneimittelkonzentrationen der Kläranlagenabläufe in ng/l

| Gewässer | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-carbamazepin | Primidon | PEMA (Primidon-Metabolit) | Triamteren | Sulfamethoxazol | Acetyl-Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin |
|---------------|----------|------------|---------|--------------|--|----------|---------------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| Geiselbullach | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 38 | 38 | 38 | 38 | 13 | 16 | 16 | 38 | 38 | 14 | 20 | 38 | 33 | 30 | 34 | 38 | 38 |
| Min | 25 | 660 | 230 | 340 | 1200 | 70 | < BG | 50 | 110 | < BG | 25 | 40 | 50 | 30 | 20 | 300 | 750 |
| Max | 240 | 4800 | 2600 | 1750 | 2600 | 550 | 180 | 650 | 470 | 20 | 540 | 280 | 550 | 830 | 259 | 1400 | 3800 |
| Median | 100 | 1400 | 570 | 900 | 1800 | 200 | 120 | 185 | 260 | -5 | 170 | 100 | 140 | 130 | 73.5 | 800 | 2300 |
| Dietersheim | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anzahl | 29 | 29 | 29 | 30 | 15 | 17 | 17 | 30 | 30 | 18 | 21 | 30 | 26 | 22 | 27 | 30 | 30 |
| Min | 20 | 380 | 100 | 230 | 760 | 72 | 64 | 45 | 110 | < BG | < BG | < BG | 30 | 5 | < BG | 330 | 100 |
| Max | 230 | 3500 | 800 | 1500 | 2500 | 500 | 230 | 1000 | 850 | 350 | 850 | 550 | 600 | 450 | 300 | 2600 | 7000 |
| Median | 120 | 1100 | 370 | 700 | 1200 | 210 | 140 | 145 | 425 | 90 | 200 | 105 | 185 | 155 | 100 | 775 | 2150 |

Tab. 21: Arzneimittelkonzentrationen in Kläranlagenabläufen vor und nach UV-Behandlung in ng/l

| Meßort | Datum | Atenolol | Metoprolol | Sotalol | Carbamazepin | Sulfamethoxazol | Azithromycin | Clindamycin | Clarithromycin | Erythromycin | Roxithromycin | N-Formyl-4-aminoantipyrin | N-Acetyl-4-aminoantipyrin | Coffein |
|---------------------|-----------|----------|------------|---------|--------------|-----------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| Dietersheim vor UV | 17-Nov-05 | 210 | 1150 | 680 | 480 | 550 | 180 | 120 | 240 | 280 | 210 | 1800 | 4800 | 90 |
| Dietersheim nach UV | 17-Nov-05 | 140 | 1100 | 580 | 300 | 550 | 220 | 100 | 210 | 190 | 85 | 900 | 2700 | 90 |
| Dietersheim vor UV | 29-Sep-05 | 130 | 1000 | 450 | 600 | 550 | 170 | 65 | | 90 | 80 | 1200 | 3000 | 140 |
| Dietersheim nach UV | 29-Sep-05 | 250 | 1100 | 550 | 420 | 400 | 190 | 80 | | 100 | 140 | 600 | 1700 | 130 |
| Starnberg vor UV | 16-Aug-05 | 180 | 3150 | 1200 | 3300 | 700 | | 190 | 240 | 130 | 280 | 2000 | 6500 | 500 |
| Starnberg nach UV | 16-Aug-05 | 150 | 3200 | 1200 | 3300 | 800 | | 150 | 200 | 200 | 160 | 1200 | 4800 | 600 |

