

## **Drogen in Koblenz und Umgebung - Abwasseranalyse auf Rückstände von Kokain-Konsum**

von Prof. Dr. Winfried A. Hetger

Koblenz, den 20. November 2022

Das Institut für sozialwissenschaftliche Forschung und Weiterbildung des Fachbereichs Sozialwissenschaften der Hochschule Koblenz führte gemeinsam mit den Klärwerken Koblenz und Neuwied I ein kriminologisches Forschungsprojekt "Drogen in Koblenz und Umgebung - Abwasseranalyse auf Rückstände von Kokain-Konsum" durch. Die Messergebnisse wurden dankenswerterweise von der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Verfügung gestellt.

Die Analyse erfolgte anhand der Standards des European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA, Europäische Beobachtungsstelle für Drogen und Drogensucht), welche seit einigen Jahren in vielen Städten Europas Abwasseruntersuchungen auf Drogenrückstände durchführen lässt. Im gleichen Forschungsumfeld ist die Sewage Analysis Core Group Europe SCORE angesiedelt.

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass die Untersuchung nicht im Rahmen des EMCDDA-Monitoring-Systems erfolgte, sondern es sollte zunächst einmal nur erforscht werden, ob im hiesigen Bereich überhaupt ein relevanter Drogenkonsum gegeben ist.

Die Untersuchung wurde auf die illegale Droge Kokain ausgerichtet. Andere Betäubungsmittelrückstände wurden nicht ermittelt. Hierfür war maßgebend, dass bei anderen Drogen wie Cannabis, Opiaten und Amphetaminen ein legaler Gebrauch im medizinischen Sektor vorhanden ist, so dass insoweit Drogenrückstände im Abwasser nur schwerlich Rückschlüsse auf den Konsum illegaler Drogen zulassen. Bei Kokain ist demgegenüber keine legale Verwendung bekannt.

### **Untersuchungsparameter**

An das Klärwerk Koblenz (Ausbaugröße 320.000 Personen) sind im März 2022 113.247 Einwohner des Stadtgebietes angeschlossen abzüglich des Stadtteils Stolzenfels (389 Einwohner, werden nach Rhens entwässert). Weiter angeschlossen ist die Verbandsgemeinde Vallendar mit 15.719 Einwohnern (abzüglich Weitersburg 2492 Einwohner nicht angeschlossen). Der Abwasserzweckverband Industriepark A61 GVZ Koblenz, der auch an das Koblenzer Klärwerk angeschlossen ist, bleibt unberücksichtigt, da hier fast ausschließlich gewerbliche bzw. industrielle Abwässer anfallen. Gleiches gilt für den gesonderten Abwasserzulauf des Kleenex-Werks im Koblenzer Industriegebiet. Insgesamt ergeben sich damit 126.085 angeschlossene Einwohner.

Die Stadt Neuwied verfügt über zwei Kläranlagen. Untersucht wurde das Klärwerk I (Ausbaugröße 95000). Hieran sind, Stand 2021, 49.427 Einwohner angeschlossen.

Mit einem automatischen Probenehmer wurden in einem Wochenzeitraum im ungeklärten Zulauf beider Kläranlagen jeweils 24-Stunden-Tagesmischproben in 20-minütigen Abständen gezogen. Die Kläranlage Koblenz wurde von 0:00 Uhr bis 23:59 Uhr beprobt, die Kläranlage Neuwied I von 8:00 Uhr bis 7:59 Uhr des nächsten Tages. Die Probenahme wurde während einer Trocken-Wetter-Periode vom 8. - 14. März 2022 durchgeführt.

Die Abwässer wurden auf Kokain, Benzoyllecgonin (BE), einem Humanmetabolit des Kokains, Cocaethylen und Levamisol untersucht.

## **Untersuchungsergebnisse**

Zunächst wurden die in den 24-h-Mischproben der Kläranlagenzuläufen detektierten Substanzkonzentrationen in Relation zum Volumenstrom der Abwässer am jeweiligen Tag gesetzt. Hieraus ergibt sich die „Fracht“ in Gramm bzw. Milligramm pro Tag. Für einen Vergleich mit anderen Städten hat sich die über die Woche gemittelte Tagesfracht von Benzoyllecgonin bezogen auf 1000 angeschlossene Einwohner bewährt (EMCDDA 2021).

## **Kokain und Benzoyllecgonin**

Da ein Großteil des Kokains im Körper in eine Vielzahl sogenannter Metaboliten transformiert wird und auch in der Kanalisation noch weiter transformiert werden kann, wurde neben Kokain auch der Hauptkörpermetabolit Benzoyllecgonin analysiert. Etwa 45% des intranasal konsumierten Kokains wird im Urin als Benzoyllecgonin ausgeschieden. Während die Einträge von Benzoyllecgonin nahezu ausschließlich auf Ausscheidungen nach Kokain-Konsum zurückzuführen sind, kann Kokain sowohl durch Ausscheidungen von unverstoffwechseltem Kokain als auch durch Entsorgung in die Kanalisation eingetragen werden.

Die Untersuchungen des Abwassers ergaben sowohl für die Kläranlage Koblenz als auch für die Kläranlage Neuwied deutlich erhöhte Frachten von Kokain und Benzoyllecgonin am Wochenende (Abbildungen 1 bis 4). So lagen die aus der zweiten Probe vom Wochenende ermittelten Frachten von Kokain in Koblenz (Sonntag 0:00 bis 23.59 Uhr) und Neuwied (Sonntag 8:00 Uhr bis Montag 7:59 Uhr) mit 10,6 g/Tag (in Folgenden: d) und 2,4 g/d deutlich über den an den Werktagen ermittelten Frachten (Abbildungen 1 und 2). Konsistent dazu wurden in diesem Zeitraum auch für den Metaboliten Benzoyllecgonin erhöhte Frachten von 84 mg/d in Koblenz, bzw. 17 mg/d in Neuwied detektiert (Abbildungen 3 und 4). Diese Zunahme am Wochenende deutet auf einen deutlich erhöhten Konsum am Wochenende, z.B. in Verbindung mit dem Besuch von Feiern, Diskotheken, Konzerten oder anderen Veranstaltungen, hin.

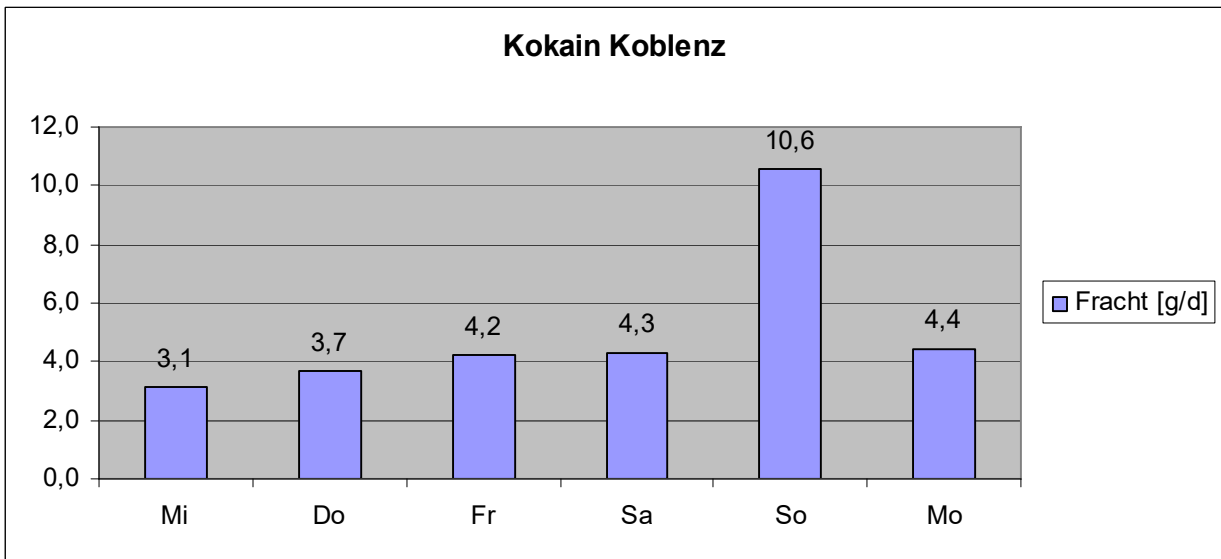


Abbildung 1: Fracht von Kokain im Zulauf der Kläranlage Koblenz in der Woche vom 9.-14. März 2022

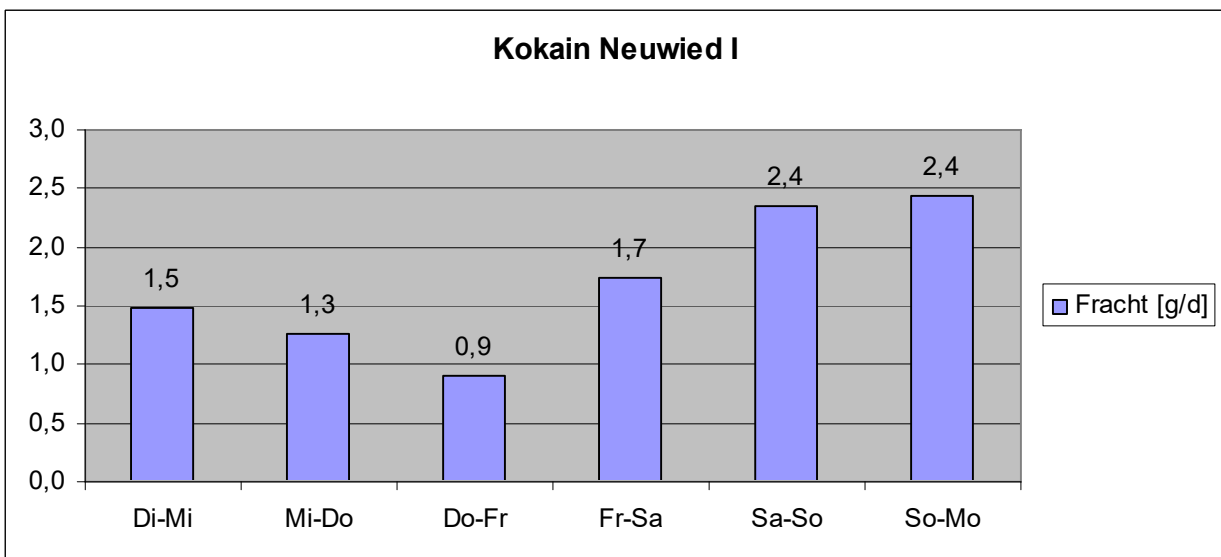


Abbildung 2: Fracht von Kokain im Zulauf der Kläranlage Neuwied I in der Woche vom 8.-14. März 2022, 8:00 Uhr

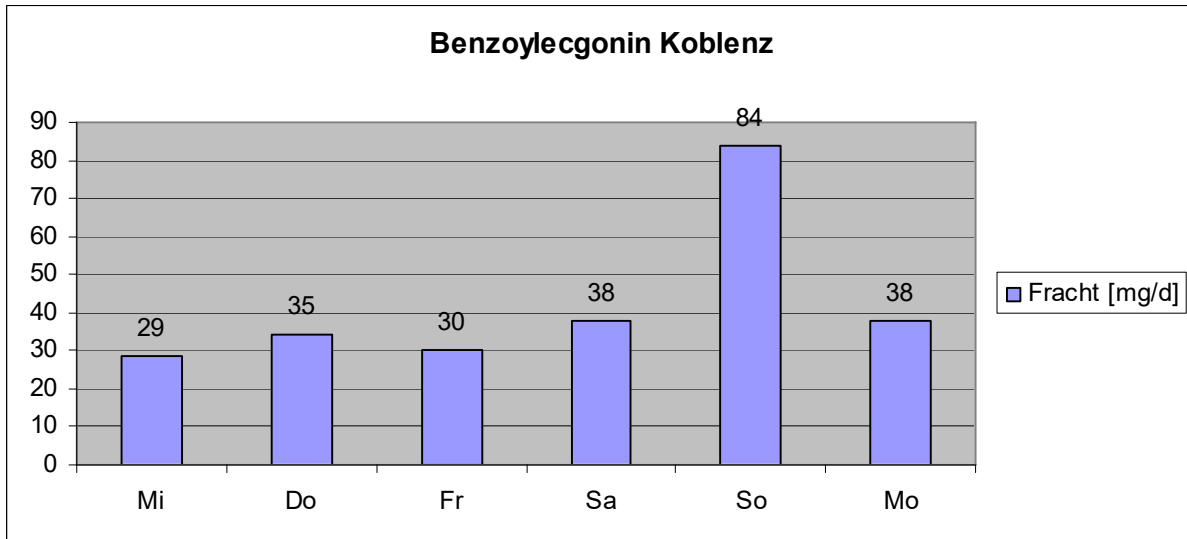


Abbildung 3: Fracht von Benzoyllecgonin im Zulauf der Kläranlage Koblenz in der Woche vom 9.-14. März 2022

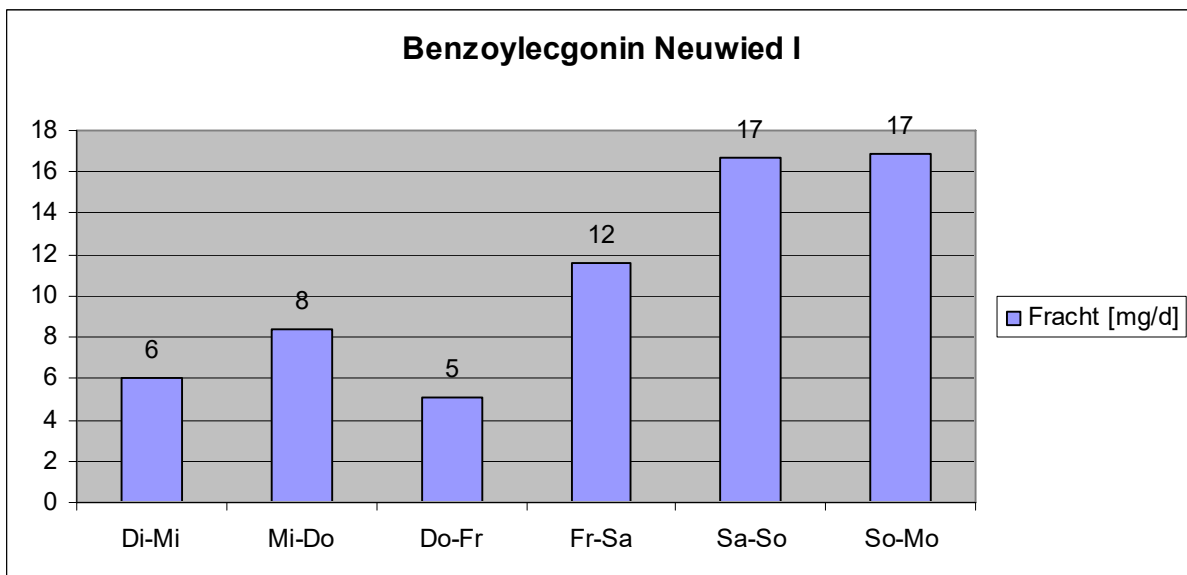


Abbildung 4: Fracht von Benzoyllecgonin im Zulauf der Kläranlage Neuwied I in der Woche vom 8.-14. März 2022, 8:00 Uhr

## Cocaethylen

Neben Benzoyllecgonin wurde mit Cocaethylen ein weiterer Metabolit von Kokain untersucht. Cocaethylen wird jedoch nur bei gleichzeitigem Konsum von Kokain und Alkohol in der Leber gebildet. Auch im Falle von Cocaethylen wurden mit 589 mg/d in Koblenz (Sonntag 0:00 bis 23:59 Uhr, Abbildung 5) bzw. 92 mg/d in Neuwied (Samstag 8:00 Uhr bis Sonntag 7:59 Uhr, Abbildung 6) die höchsten Frachten am Wochenende detektiert. Hierbei zeigt sich, dass die Verhältnisse von Cocaethylen zu Benzoyllecgonin am Wochenende höher sind als an Werktagen. Dies lässt sich durch einen verstärkten gemeinsamen Konsum von Kokain und Alkohol am Wochenende erklären.

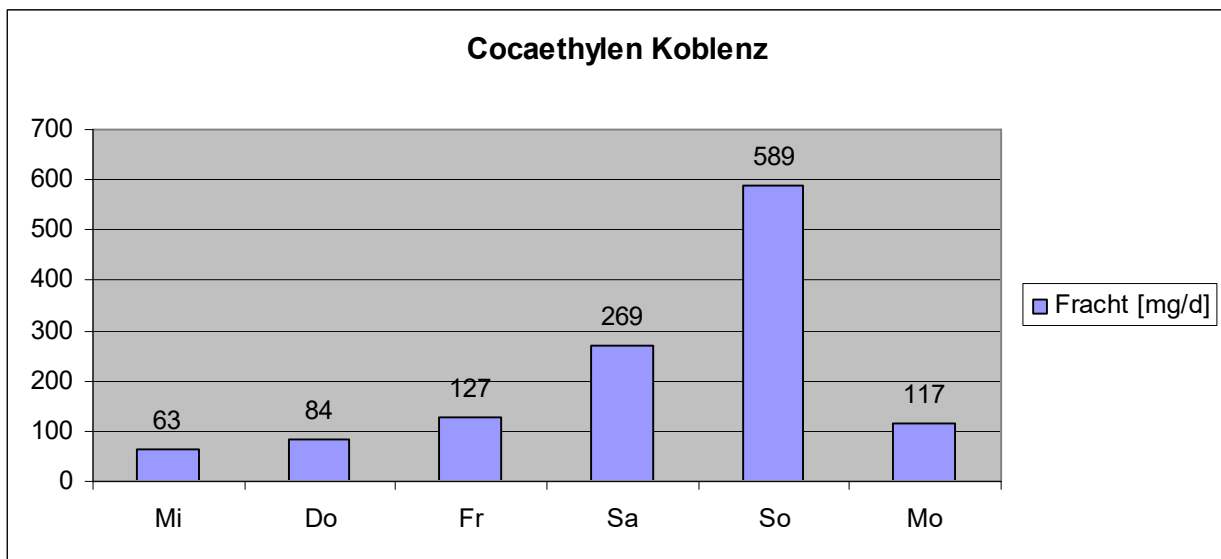


Abbildung 5: Fracht von Cocaethylen im Zulauf der Kläranlage Koblenz in der Woche vom 9.-14. März 2022

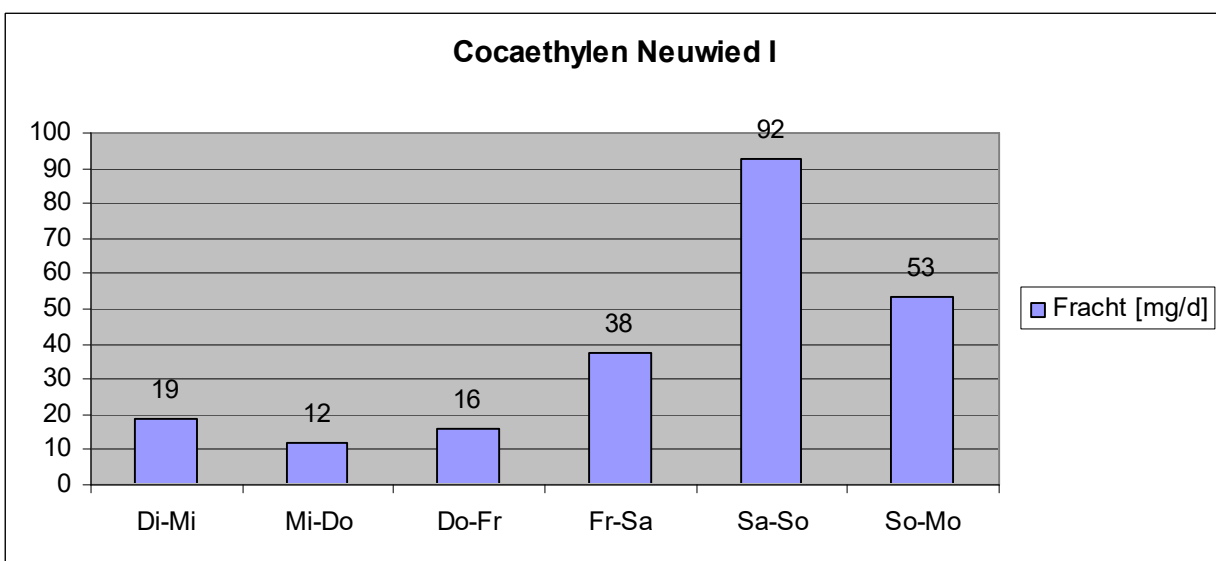


Abbildung 6: Fracht von Cocaethylen im Zulauf der Kläranlage Neuwied I in der Woche vom 8.-14. März 2022, 8:00 Uhr

## Levamisol

Die Substanz Levamisol wird häufig als die psychotrope Wirkung verstärkendes Streckmittel für Kokain benutzt. Hierbei handelt es sich um ein Entwurmungsmittel aus der Veterinärmedizin, welches in Deutschland nicht zugelassen ist, so dass das Vorfinden nicht durch einen legalen Gebrauch erklärt werden kann. Levamisol wird im Körper teilweise zu Aminorex, einer amphetaminähnlichen Substanz, umgewandelt und verstärkt und verlängert dadurch die euphorisierende Wirkung von Kokain. Aminorex war ursprünglich als Appetitzügler zugelassen, wurde aber später vom Markt zurückgezogen, da Fälle von pulmonaler Hypertonie aufgetreten sind. Der Konsum von mit Levamisol gestrecktem Kokain bedeutet ein zusätzliches Gesundheitsrisiko durch eine mögliche Veränderung und Entzündung von Blutgefäßen (Agranulozytose, nekrotisierende Vaskulitis), Herzversagen und Immunsuppression. Auch für Levamisol wurden die höchsten Frachten am Sonntag mit 912 mg/d in Koblenz (Sonntag 0:00 bis 23:59 Uhr) bzw. 295 mg/d in Neuwied (Samstag 8:00 Uhr bis Sonntag 7:59 Uhr) detektiert (Abbildungen 7 und 8). Die sehr ähnlichen Frachtverläufe von Levamisol und Benzoyllecgonin in beiden Kläranlagen deuten darauf hin, dass das in Koblenz und Neuwied im Untersuchungszeitraum konsumierte Kokain mit Levamisol gestreckt war. In Relation zu den übrigen Parametern ergibt sich ein Streckungsgrad von 14,5% in Koblenz und 13,2% in Neuwied, was gut mit den Untersuchungsergebnissen in den uns umgebenden europäischen Ländern mit Drug-Checking-Programmen übereinstimmt (<https://toxinfo.ch/298>). Im Rahmen der Drug-Checking-Programme werden zumeist auf dem Schwarzmarkt gehandelte psychotrope Substanzen einer chemischen Analyse unterzogen, um potentielle Konsumenten vor besonders gesundheitsschädlichen Präparaten zu warnen und somit zusätzliche Gefahren, die beim Konsum von Substanzen mit einer nicht bekannten Zusammensetzung entstehen, zu vermindern.

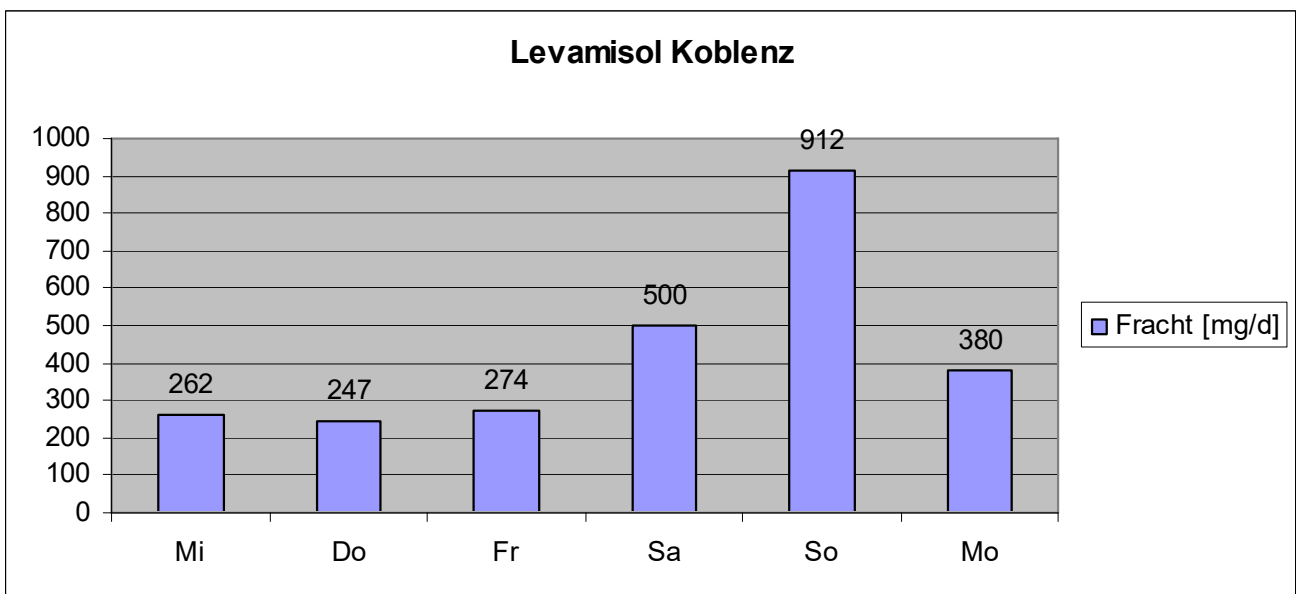


Abbildung 7: Fracht von Levamisol im Zulauf der Kläranlage Koblenz in der Woche vom 9.-14. März 2022

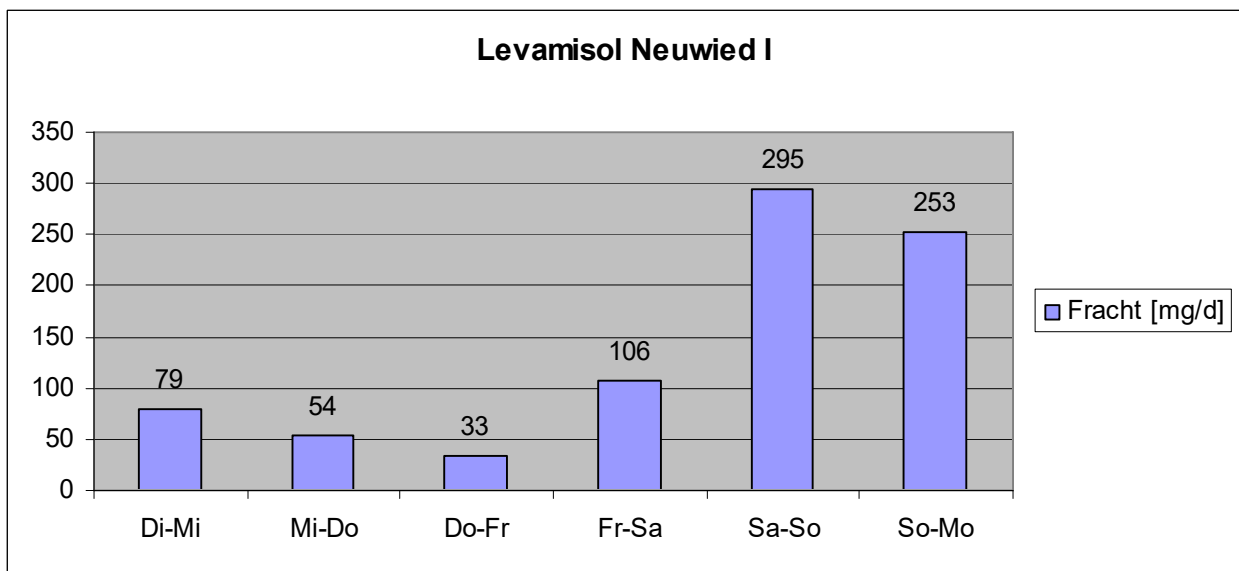


Abbildung 8: Fracht von Levamisol im Zulauf der Kläranlage Neuwied I in der Woche vom 8.-14. März 2022, 8:00 Uhr

### Entfernung von Kokain und seinen Humanmetaboliten durch die Abwasserreinigung

Bei der Kläranlage Koblenz wurden in Ergänzung zu den Zulauffrachten auch die Frachten im Ablauf bestimmt. Aus den Differenzen der Zu- und Ablauffrachten wurde berechnet, wie hoch der Anteil ist, der durch die Abwasserreinigung entfernt wird. Für Kokain und Benzoylcegonin wurden hohe prozentuale Entfernungsleistungen von 95% und 90% festgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kläranlage Kokain und Benzoylcegonin zu hohen Anteilen entfernen, was für eine sehr gute Funktion der Kläranlage spricht. Die Befunde sind auch konsistent zu Angaben in der Literatur, wobei hier sogar teilweise noch höhere Entfernungsleistungen beschrieben werden. Für Levamisol wurde hingegen keine nennenswerte Entfernung festgestellt, was ebenfalls mit Literaturangaben übereinstimmt (Collado et al., 2014).

### Mittlere Tagesfracht von Benzoylcegonin und Vergleich mit anderen Städten

Um die ermittelten Frachten der Kokainrückstände einordnen und mit anderen Städten vergleichen zu können, wurde entsprechend des Vorgehens der Europäischen Beobachtungsstelle für Drogen und Drogensucht (EMCDDA 2021) die über die Woche gemittelte Tagesfracht von Benzoylcegonin pro 1000 an die Kläranlage angeschlossene Einwohner berechnet. Die vorliegende Untersuchung geht bei der Zahl der angeschlossenen Einwohner von den oben genannten Zahlen aus. Vor dem Hintergrund der höheren Unsicherheit der Daten (siehe unten) für kleinere Städte und der räumlichen Nähe der Kläranlage Koblenz zu der Kläranlage Neuwied I wurde die durchschnittliche Tagesfracht pro 1000 Einwohner für den gesamten Einzugsbereich beider Kläranlagen (Koblenz und Neuwied I) berechnet, um die Repräsentativität zu erhöhen.

Danach ergibt sich im Untersuchungszeitraum für den Raum Koblenz/Neuwied eine durchschnittliche Benzoylcegonin-Tagesfracht von etwa 276,18 Gramm/Tag/1000 Einwohner.

Es ist dabei allerdings zu beachten, dass diese Zahl einer gewissen Unsicherheit unterworfen ist. Zunächst ist davon auszugehen, dass sich nicht alle angeschlossenen Einwohner im

Untersuchungszeitraum durchgängig im Einzugsbereich der Kläranlagen Koblenz und Neuwied I aufhielten. Unbekannt ist auch die Zahl der hinzuzurechnenden Pendler, Tagestouristen und Hotelgäste. In der Literatur wird die Unsicherheit diesbezüglich mit bis zu 55% angegeben (Castiglioni et al., 2013). Hinzu kommen weitere Unsicherheiten durch die Probenahme, Bestimmung der Abwassermenge und die chemische Analytik. Basierend auf Literaturangaben wurde hierfür eine Unsicherheit von 20% angenommen. Unter Berücksichtigung einer Fehlerfortpflanzung ergibt sich daraus eine geschätzte Gesamtunsicherheit von etwa 59%.

Bezieht man diese Unsicherheit mit ein, lag die mittlere Tagesfracht von Benzoyllecgonin in Koblenz/Neuwied I im Beprobungszeitraum im Bereich von 113 bis 439 Gramm/Tag/1000 Einwohner und damit in einer im Vergleich zu anderen deutschen und europäischen Städten darstellbaren Größenordnung (Abbildung 9).

Durch die mittlere Tagesfracht des Kokain-Metaboliten Benzoyllecgonin lässt sich unter Annahme einer bestimmten Umsetzungsrate im Körper auch der Kokainkonsum abschätzen. Entsprechend des Vorgehens der EMCDDA wurde ein Faktor von 3,59 zur Umrechnung angenommen. Es ist allerdings zu beachten, dass der Umrechnungsfaktor von der Art des Kokainkonsum abhängt und ebenfalls eine Unsicherheit aufweist, die von Castiglioni et al. (2013) mit 26% beziffert wurde.

Daraus ergibt sich für den Beprobungszeitraum ein **Kokainkonsum zwischen 0,4 und 1,6 Gramm pro Tag auf 1000 Einwohner**. Dieser Bereich ist ebenfalls konsistent zu den Daten anderer Studien (z.B. van Nuijs et al., 2014).

Dennoch ist es wichtig herauszustellen, dass die berechneten Benzoyllecgonin-Frachten und der Kokainkonsum aufgrund der beschriebenen Unsicherheiten und der einmaligen Beprobung nur eine erste grobe Orientierung darstellen und durch weitere Beprobungskampagnen verifiziert werden müssten.

Für die Interpretation der Ergebnisse spielt sicher auch die Altersverteilung innerhalb einer Stadt eine Rolle, z.B. ob es Hochschulen wie in Koblenz und Vallendar gibt.

Insgesamt ist die Variabilität der Schätzungen nach Angaben der EMCDDA als hoch einzustufen. Dennoch lassen sich Trends in Bezug auf den Konsum von Kokain aufzeigen.

Nach alledem vermittelt die Benzoyllecgonin-Belastung der Bevölkerung pro 1000 Einwohner im Bereich der Kläranlagen Koblenz und Neuwied I nur eine grobe Orientierung und ist im Vergleich zu anderen Städten von eingeschränkter Aussagekraft.



Im Folgenden ein Vergleich mit den von der EMCDDA im Jahre 2021 erhobenen Daten anderer Städte:



Abbildung 9: Durchschnittliche Benzoyllecgoninfracht in Milligramm pro Tag pro 1000 Einwohner im Vergleich deutscher Städte

## Vergleichszahlen Europa 2021

Benzoyllecgonin-Fracht im Abwasser  
Milligramm pro Tag / 1000 Einwohner

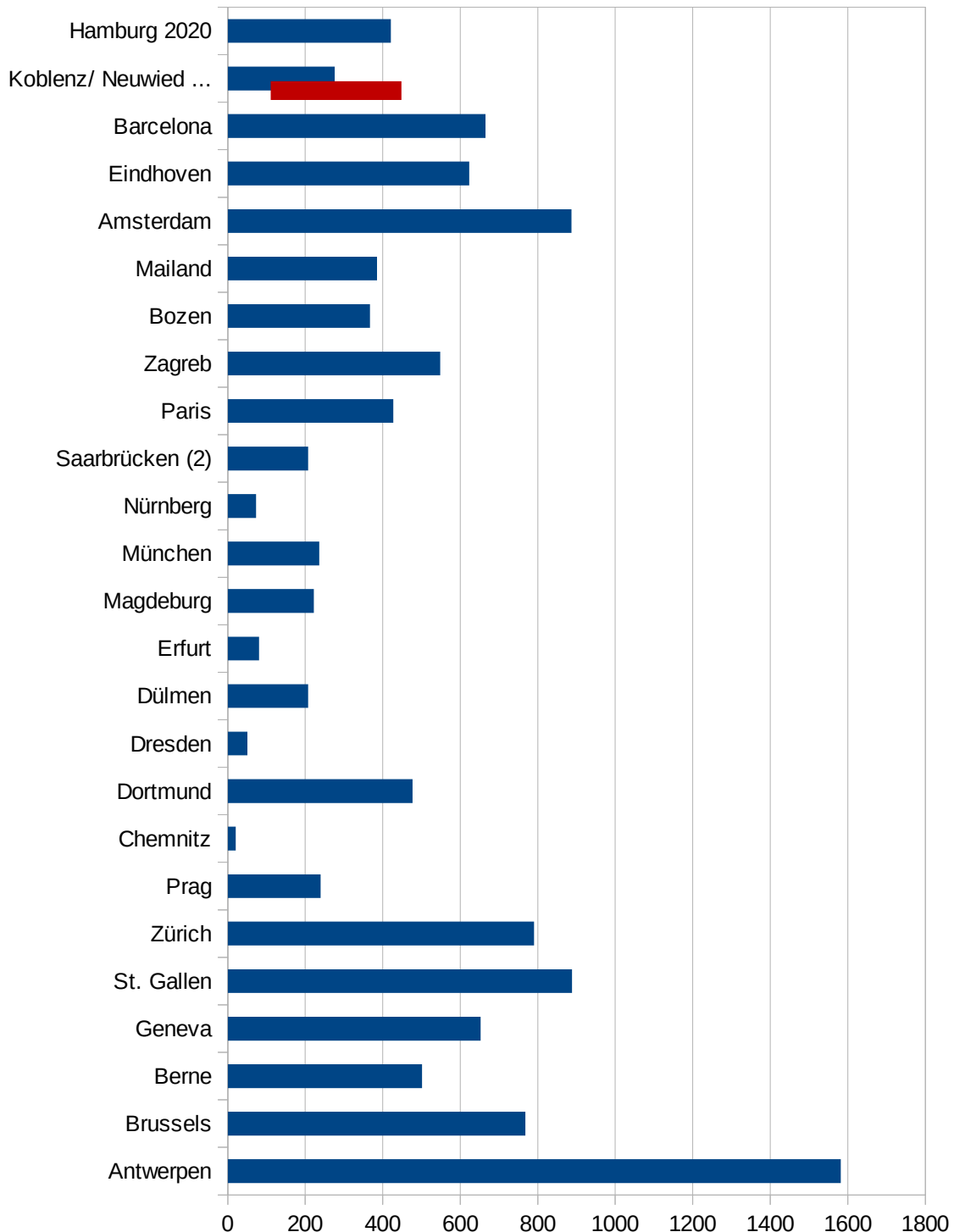


Abbildung 10: Ermittelte Fracht von Benzoyllecgonin (BE) in Gramm im Kläranlagenzulauf pro 1000 Einwohner pro Tag (mg/d/1000) in ausgewählten deutschen und europäischen Städten. Rot markiert ist der geschätzte Unsicherheitsbereich der in dieser Studie bestimmten Fracht für den Raum Koblenz/Neuwied I.

## **Kriminologische Bewertung**

1. Die Kokainbelastung in Koblenz und Neuwied unterscheidet sich nicht wesentlich. Auch sind in beiden Städten ein gesteigerter Kokainkonsum am Wochenende sowie ein gleichzeitiger Konsum von Kokain und Alkohol am Wochenende feststellbar. Dies lässt sich mit einem verstärkten Besuch von Gaststätten, Clubs und Partys in dieser Zeit erklären. Im Vergleich zu anderen Städten und im Rahmen der oben skizzierten Unsicherheiten deuten die Daten auf einen in der Größenordnung erwartbaren Konsum hin.
2. Leichte Verfügbarkeit: Koblenz und Neuwied bilden einen Verkehrsknotenpunkt in Nord-Süd- und in Ost-West-Richtung. Hierzu zählen die Autobahnen, Bahnstrecken und die Wasserstraßen. Entlang dieser Verkehrswege werden alle Arten von Drogen transportiert, was die polizeilichen Zugriffe zeigen. Hierbei kommt es auch zu einer erhöhten Verfügbarkeit von Drogen in der Region zu vergleichsweise günstigen Preisen.
3. Nach Auskunft des Polizeipräsidiums Koblenz liegt der Preis im illegalen Straßenverkauf bei 70 € pro Gramm Kokain. Dies liegt etwas unter dem Durchschnittswert für Deutschland, den das Bundeskriminalamt für 2020 mit 72,90 € pro Gramm ermittelt hat. In Antwerpen oder Amsterdam werden erheblich niedrigere Preise verlangt, was damit zusammenhängt, dass diese Hafenstädte die Einfallstore für illegale Kokainlieferungen in großen Mengen aus Südamerika sind.
4. Die ermittelte BE-Tagesfracht pro 1000 Einwohner lässt darauf schließen, dass in Koblenz und Umgebung auch andere illegale Betäubungsmittel konsumiert werden. Denn die im Rahmen des EMCDDA-Monitoring-Programms untersuchten Städte weisen bei nachgewiesenem Kokainkonsum auch bezüglich der Rückstände anderer illegaler Drogen korrelierende Werte auf.
5. Auswirkungen der Pandemie mit den damit verbundenen Kontaktbeschränkungen sind auszuschließen. Ein Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen anderer Städte in früheren Jahren durch die EMCDDA hat keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit des Drogenkonsums gezeigt.
6. Besorgniserregend ist der Konsum von mit Levamisol gestrecktem Kokain im Hinblick auf die beschriebenen erheblichen Gesundheitsgefahren dieses Streckmittels. Um die Konsumenten zu warnen, sollte ein Drug-Checking-Programm eingerichtet werden. Hierbei können Kokainkäufer ihre Drogen auf gefährliche Überdosierungen und andere medizinisch bedenkliche Stoffe untersuchen lassen.
7. Drug-Checking findet in Deutschland bisher keine Anwendung. Im Gegensatz hierzu sind entsprechende Programme in der Schweiz, Österreich, den Niederlanden, Frankreich, Belgien,

Großbritannien und Luxemburg seit Jahren etabliert. Europaweit ist insoweit das T.E.D.I.-Netzwerk aktiv (Trans European Drug Information Project).

In Deutschland verweigert die Bundesopiumstelle beim Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte BfArM die erforderlichen Genehmigungen nach dem Betäubungsmittelgesetz. Das Institut für sozialwissenschaftliche Forschung und Weiterbildung des Fachbereichs Sozialwissenschaften der Hochschule Koblenz hatte 2018 ein Drug-Checking-Konzept erarbeitet. Der Antrag auf Erteilung einer Ausnahmeerlaubnis wurde indes im gleichen Jahr abgelehnt. Ein gegen diesen Bescheid eingelegter Widerspruch blieb erfolglos. In der Begründung der Ablehnung wird darauf abgestellt, dass das Vorhaben dem Gesetzeszweck des Betäubungsmittelgesetzes entgegenstehe, nämlich den Missbrauch von Betäubungsmitteln sowie das Entstehen einer Betäubungsmittelabhängigkeit soweit wie möglich auszuschließen. Mit der Testung einer nicht verkehrsfähigen Droge werde eine relative Unbedenklichkeit bescheinigt, die sie objektiv nicht habe. Damit vermittele die Testung ein Gefühl der relativen Sicherheit beim Konsumenten, die nicht bestehe.

In Thüringen wird derzeit versuchsweise ein anderer Weg beschritten. Konsumenten füllen die mitgebrachten Drogen in Untersuchungsbehältnisse, in denen die Droge chemisch in nicht dem Betäubungsmittelgesetz unterfallende Substanzen aufgespalten wird. Die Drug-Checking-Stelle benötigt deshalb keine Ausnahmeerlaubnis, da sie keine Drogen entgegennimmt. Inwieweit diese Ausgestaltung rechtlich haltbar ist, bleibt abzuwarten.

Nach alledem ist die Einrichtung von Drug-Checking-Programmen in Deutschland dringend angezeigt.

8. Die festgestellten BE-Frachten (hinzu kommen die Mengen an unverstoffwechseltem Kokain) lassen auf einen beachtlichen Betäubungsmittelkonsum im Bereich Koblenz/ Neuwied schließen. Insoweit wäre eine Drogenpräventions- und Aufklärungskampagne über Risiken des Drogenkonsums angezeigt, beispielsweise durch Verteilung von Flyern an Schulen, Hochschulen und Clubs. Hierbei sollten auch die genannten Gesundheitsgefahren deutlich herausgestellt werden.

9. In der Zukunft sollten erneute Abwasseruntersuchungen zur weiteren Beobachtung des Drogenkonsums erfolgen.

Abwasseruntersuchungen können auch Biomarker für Krankheiten entdecken. Gerade in Zeiten einer Pandemie können sich Erhebungen im Kanal zu einer Art Frühwarnsystem entwickeln.

Für die Unterstützung des Projekts besonderen Dank an Herrn Dr. Wick und Herrn Dr. Schlüsener von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Frau Dr. Kronenberg vom Klärwerk Koblenz und Herrn Magdzalla vom Klärwerk Neuwied I.

## Referenzen

Baselt RC. 2004. Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man. 3rd ed. Foster City, CA:Biomedical Publications.

Bohannon J. 2007. Hard data on hard drugs, grabbed from the environment. *Science* 316:42–44.

Bones J, Thomas KV, Paull B. 2007. Using environmental analytical data to estimate levels of community consumption of illicit drugs and abused pharmaceuticals. *J Environ Monit* 9:701–707.

Castiglioni S et al. 2012. Evaluation of Uncertainties Associated with the Determination of Community Drug Use through the Measurement of Sewage Drug Biomarkers. *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 3, 1452–1460.

Castiglioni et al. 2013. Evaluation of Uncertainties Associated with the Determination of Community Drug Use through the Measurement of Sewage Drug Biomarkers. *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 1452–1460. [dx.doi.org/10.1021/es302722f](http://dx.doi.org/10.1021/es302722f)

Collado et al. 2014. *Environmental Pollution* 185, 202-212.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.040>

Community Drug Use through the Measurement of Sewage Drug Biomarkers. *Environmental Science & Technology*. 2012 American Chemical Society 1452 [dx.doi.org/10.1021/es302722f](http://dx.doi.org/10.1021/es302722f) | *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 1452–1460.

Castiglioni S, Zuccato E, Chiabrando C, Fanelli R, Bagnati R. 2008. Mass spectrometric analysis of illicit drugs in wastewater and surface water. *Mass Spectrom Rev* 27:378–394.

Castiglioni S, Zuccato E, Crisci E, Chiabrando C, Fanelli R, Bagnati R. 2006. Identification and measurement of illicit drugs and their metabolites in urban wastewater by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Anal Chem* 78:8421–8429.

Caulkins JP, Everingham SS, Rydell CP, Chiesa J, Bushway S. 1999. Estimating average lifetime cocaine consumption. In: *An Ounce of Prevention, a Pound of Uncertainty*. RAND Corporation Series: Monograph/Reports. Document No. MR-923-RWJ, 89–96. Available: [http://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR923/MR923.appa.pdf](http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR923/MR923.appa.pdf)

D’Ascenzo G, Di Corcia A, Gentili A, Mancini R, Mastropasqua R, Nazzari M, et al. 2003. Fate of natural estrogen conjugates in municipal sewage transport and treatment facilities. *Sci Total Environ* 302:199–209.

Daughton CG. 2001. Illicit drugs in municipal sewage: proposed new non-intrusive tool to heighten public awareness of societal use of illicit/abused drugs and their potential for ecological consequences. In: *Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment. Scientific and Regulatory Issues.* (Daughton CG, Jones-Lepp TL, eds). Symposium Series 791. Washington, DC: American Chemical Society, 348–364.

Europäische Beobachtungsstelle für Drogen und Drogensucht. EMCDDA (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction). 2021. Abwasseranalyse und Drogen – eine europäische städteübergreifende Studie.  
[https://www.emcdda.europa.eu/system/files/publications/2757/POD\\_Wastewater%20analysis\\_DE%202019.pdf](https://www.emcdda.europa.eu/system/files/publications/2757/POD_Wastewater%20analysis_DE%202019.pdf) .

Hahn et al. 2021. Evaluation of Illicit Drug Consumption by Wastewater Analysis Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler as a Monitoring Tool. *Front. Chem.*, 30 March 2021 Sec. Analytical Chemistry

Heberer T, Feldmann D. 2005. Contribution of effluents from hospitals and private households to the total loads of diclofenac and carbamazepine in municipal sewage effluents— modeling versus measurements. *J Hazard Mater* 122:211–218.

Huerta-Fontela M, Galceran MT, Ventura F. 2007. Ultrapformance liquid chromatography–tandem mass spectrometry analysis of stimulatory drugs of abuse in wastewater and surface waters. *Anal Chem* 79:3821–3829.

Huestis MA, Mitchell JM, Cone EJ. 1996. Urinary excretion profiles of 11-nor-9-carboxy-delta 9-tetrahydrocannabinol in humans after single smoked doses of marijuana. *J Anal Toxicol* 20:441–452.

Laizure SC, Mandrell T, Gades NM, Parker RB (2003). "Cocaethylene metabolism and interaction with cocaine and ethanol: role of carboxylesterases". *Drug Metabolism and Disposition*. 31 (1): 16–20. doi:10.1124/dmd.31.1.16.

Lindberg RH, Wennberg P, Johansson MI, Tysklind M, Andersson BA. 2005. Screening of human antibiotic substances and determination of weekly mass flows in five sewage treatment plants in Sweden. *Environ Sci Technol* 39:3421–3429.

Maurer HH, Sauer C, Theobald DS. 2006. Toxicokinetics of drugs of abuse: current knowledge of the isoenzymes involved in the human metabolism of tetrahydrocannabinol, cocaine, heroin, morphine, and codeine. *Ther Drug Monit* 28:447–453.

Oberacher H, Ausweger V, Neubacher T, Hanefeld W. 2021. Umfassende Untersuchung des Drogenkonsums der Vorarlberger Bevölkerung mittels Abwasseranalyse 2020. Amt der Vorarlberger

Landesregierung Abteilung Soziales und Integration (IVa) Funktionsbereich Sozialpsychiatrie und Sucht Landhaus, Römerstraße 15, 6901 Bregenz .

Ort C (Eawag), van Nuijs A (Universität Antwerpen) et al. 2014. Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis. *Addiction*, 109, 1338–1352.

Sewage Analysis Core Group Europe SCORE: <http://score-cost.eu>

T.E.D.I. (Trans European Drug Information Project): <https://www.tedinetwork.org/>

Ternes TA, Kreckel P, Mueller J. 1999. Behaviour and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants–II. Aerobic batch experiments with activated sludge. *Sci Total Environ* 225:91–99.

UNODC (United Nations Office of Drugs and Crime). 2021. World Drug Report 2021. <https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/wdr2021.html>

van Nuijs, A. L. N. et al. 2010. Illicit drug consumption estimations derived from wastewater analysis: A critical review. *Sci Total Environ*. 2011 Sep 1;409(19):3564-77.

van Nuijs, A. L. N. et al. 2009. Can cocaine use be evaluated through analysis of wastewater? A nation-wide approach conducted in Belgium. *The Authors Journal compilation. Addiction*, 104, 734–741.

Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, Calamari D, Bagnati R, Schiarea S, et al. 2005. Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse. *Environ Health* 4:14. Available: <http://www.ehjournal.net/content/4/1/14>

Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, Bagnati R, Fanelli R, 2008. Estimating Community Drug Abuse by Wastewater Analysis, Volume 116 | NUMBER 8 | August 2008, p. 1027 – 1032.