



DROGENPERSPEKTIVEN

Abwasseranalyse und Drogen – eine europäische städte- übergreifende Studie

Die Ergebnisse des bislang größten europäischen Projekts in der neu entstehenden Wissenschaft der Abwasseranalyse werden in dieser Ausgabe der „Drogen im Blickpunkt“-Reihe erörtert. Im Rahmen dieses Projekts wurden in rund 70 europäischen Groß- und Kleinstädten (nachfolgend „Städte“) Abwasseranalysen durchgeführt, um die Drogenkonsumgewohnheiten ihrer Bewohner zu erforschen. Die Merkmale europäischer Städte unterscheiden sich erheblich. Einige davon sind wichtige Touristen- oder Geschäftszentren mit unterschiedlichen Tages- und Nachtpopulationen. Die Ergebnisse stellen eine wertvolle Momentaufnahme des Drogenflusses durch die beteiligten Städte dar und offenbaren dabei deutliche geografische Unterschiede.

Die Abwasseranalyse ist ein sich rasch entwickelndes wissenschaftliches Fachgebiet, das die Überwachung von Daten über Echtzeit-Trends auf geografischer und zeitlicher Ebene im Bereich des illegalen Drogenkonsums ermöglicht. Die ursprünglich in den 1990er Jahren zur Überwachung der Umweltauswirkungen von häuslichem Abwasser genutzte Methode wird inzwischen zur Schätzung des illegalen Drogenkonsums in verschiedenen Städten eingesetzt (Daughton, 2001; van Nuijs et al., 2011; Zuccato et al., 2008). Sie beinhaltet die Entnahme einer Abwasserprobe, wie z. B. die Probenahme am Zulauf einer Kläranlage. Dies ermöglicht es Wissenschaftlern, die Menge der in einer Gemeinschaft konsumierten Drogen durch die Messung der Konzentrationen an illegalen Drogen und ihrer über den Urin ausgeschiedenen Metaboliten zu schätzen (Zuccato et al., 2008).

Abwasseruntersuchungen in europäischen Städten

Im Jahr 2010 wurde ein europaweites Netzwerk (Sewage analysis CORe group — Europe (SCORE)) gegründet, um die zur Abwasseranalyse verwendeten Ansätze zu standardisieren und internationale Studien durch die Einrichtung eines gemeinsamen Aktionsplans zu koordinieren. Die erste Maßnahme der SCORE-Gruppe war eine europaweite Untersuchung, die im Jahr 2011 in 19 europäischen Städten durchgeführt wurde und die erste Abwasserstudie der regionalen Unterschiede im Konsum illegaler Drogen in Europa ermöglichte (Thomas et al., 2012). Diese Studie beinhaltete auch die erste Interkalibrierung zur Bewertung der Qualität der analytischen Daten und ließ eine umfassende Charakterisierung der wichtigsten Unsicherheiten des Ansatzes zu (Castiglioni et al., 2014).



Nach dem Erfolg dieser ersten Studie wurden in den darauf folgenden Jahren vergleichbare Studien durchgeführt, die 2018 insgesamt 73 Städte in 20 europäischen Ländern abdeckten. Ein Standardprotokoll und eine gemeinsame Qualitätskontrollprüfung wurden an allen Standorten genutzt, was einen direkten Vergleich der Belastung durch illegale Drogen in Europa in einem Zeitraum von einer Woche während acht aufeinander folgender Jahre ermöglichte (van Nuijs et al., 2018). Für die Kampagne zur Abwasserüberwachung 2018 wurden innerhalb einer einzigen Woche im März rohe 24-Stunden-Sammelproben entnommen. Diese Proben wurden auf die Urin-Biomarker (d. h. messbare Eigenschaften) der Muttersubstanz (d. h. die Primärschubstanz) für Amphetamin, Methamphetamin und MDMA untersucht. Außerdem wurden die Proben auf die mit dem Urin ausgeschiedenen Hauptmetaboliten (d. h. die Stoffe, die produziert werden, wenn der Körper Drogen abbaut) von Kokain und Cannabis untersucht, nämlich Benzoylcgonin (BE) und THC-COOH (11-Nor-9-carboxy-delta-9-Tetrahydrocannabinol).

Hauptgegenstand des vorliegenden Berichts sind illegale Stimulanzien. Für Cannabis werden keine Ergebnisse gemeldet, da der Cannabis-Konsum durch Messung seines Hauptmetaboliten (THC-COOH) geschätzt wird, der einzige bislang entdeckte geeignete Biomarker, der jedoch nur in ganz geringen Konzentrationen ausgeschieden wird. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um zu verstehen, welcher Anteil an den Ausscheidungen auf TCH-COOH entfällt, oder um alternative Biomarker zu finden (Causanilles et al., 2017a).

Es wurde festgestellt, dass der spezifische Metabolit von Heroin, 6-Monoacetylmorphin, im Abwasser instabil ist. Die einzige Alternative besteht daher darin, Morphin zu verwenden, obwohl dies kein spezifischer Biomarker ist und auch ausgeschieden werden kann, weil es zu therapeutischen Zwecken eingesetzt wird. Damit wird deutlich, weshalb es so wichtig ist, für den Konsum von Morphin die genauen Zahlen aus der Verschreibung und/oder aus Verkaufsberichten zu erfassen.

Muster des illegalen Drogenkonsums: geografische und zeitliche Unterschiede

Die wichtigsten Erkenntnisse 2018

Das Projekt ergab ein Bild von unterschiedlichen geografischen und zeitlichen Mustern des Drogenkonsums in europäischen Städten (siehe Interaktiv: Erforschen Sie die Daten der Studie).

Die beobachteten BE-Belastungen im Abwasser deuten darauf hin, dass der Kokain-Konsum in west- und südeuropäischen Städten nach wie vor am höchsten ist,



insbesondere in Städten in Belgien, den Niederlanden, Spanien und dem Vereinigten Königreich. In den meisten der untersuchten osteuropäischen Städte wurden äußerst geringe Konzentrationen gefunden, allerdings weisen die jüngsten Daten Anzeichen für einen Anstieg auf.

Die im Abwasser festgestellten Amphetamin-Belastungen variierten an den verschiedenen Orten der Studie deutlich, wobei die höchsten Konzentrationen in Städten in Nord- und Osteuropa festgestellt wurden. In südeuropäischen Städten wurden deutlich niedrigere Amphetamin-Werte gemessen.

Methamphetamin hingegen, dessen Konsum insgesamt niedrig ist und ursprünglich auf Tschechien und die Slowakei beschränkt war, wird nun offenbar auch in Zypern, Ostdeutschland, Spanien und Finnland konsumiert. Die an den anderen Orten beobachteten Methamphetamin-Belastungen waren sehr niedrig bis vernachlässigbar.

Die höchsten MDMA-Massenbelastungen wurden im Abwasser von Städten in Belgien, Deutschland und den Niederlanden festgestellt.

In vierzehn Ländern, die an der Kampagne zur Abwasserüberwachung 2018 teilnahmen, wurden Untersuchungen an zwei oder mehr Studienstandorten durchgeführt (Österreich, Belgien, Zypern, Tschechien, Deutschland, Finnland, Frankreich, Italien, Litauen, Niederlande, Portugal, Spanien, Slowakei und Slowakei). Im Rahmen der Studie wurden Unterschiede zwischen Städten desselben Landes ermittelt, was womöglich teilweise auf die unterschiedlichen sozialen und demografischen Merkmale der Städte (Hochschulen, Vorhandensein von Ausgevierteln und Altersstruktur der Bevölkerung) zurückzuführen ist. In den meisten Ländern mit mehreren Studienstandorten war die Kokain- und MDMA-Belastung in Großstädten höher als in kleineren Städten. Im Hinblick auf die Belastung mit Amphetamin und Methamphetamin konnten keine derartigen Unterschiede nachgewiesen werden.

Neben geografischen Mustern können mit der Abwasseranalyse Schwankungen in den wöchentlichen Mustern des illegalen Drogenkonsums ermittelt werden.

Mehr als drei Viertel der Städte weisen am Wochenende (Freitag bis Montag) höhere Amphetamin-, BE- und MDMA-Belastungen im Abwasser als an Wochentagen auf. Im Gegensatz dazu wurde im Hinblick auf Methamphetamin eine gleichmäßigere Verteilung über die gesamte Woche festgestellt.

Trenddaten

Dreiunddreißig Städte haben seit 2011 an mindestens fünf der jährlichen Kampagnen zur Abwasserüberwachung teilgenommen, was eine Zeittrendanalyse des Drogenkonsums auf der Basis von Abwasseruntersuchungen ermöglicht.

Für die meisten Städte ergibt sich im Zeitraum zwischen 2011 und 2015 ein relativ stabiles Bild des Kokain-Konsums. Die ermittelten allgemeinen Muster ähnelten sich in den ersten fünf aufeinander folgenden Überwachungskampagnen, wobei die höchste und die niedrigste BE-Belastung in denselben Städten und Regionen gemessen wurden. Die meisten Städte weisen zwischen 2011 und 2015 einen rückläufigen oder stabilen Trend auf. Im Jahr 2016 gab es erste Anzeichen dafür, dass sich dieses Muster änderte: 22 von 33 Städten, aus denen Daten für 2015 und 2016 vorliegen, verzeichneten einen Anstieg. Dies wurde im Jahr 2017 bestätigt, als 19 der 31 Städte, aus denen Daten für 2016 und 2017 vorliegen, einen Anstieg der gemessenen Belastung verzeichneten. 2018 setzte sich dieser zunehmende Trend beim Konsum fort, wobei 22 der 38 Städte, aus denen Daten für 2017 und 2018 vorliegen, einen Anstieg verzeichneten. Die meisten der 13 Städte, aus denen Daten für 2011 und 2018 verfügbar sind, beobachteten längerfristig steigende Werte.

Über den Überwachungszeitraum von acht Jahren hinweg wurden die höchsten MDMA-Belastungen durchgehend im Abwasser von Städten in Belgien und den Niederlanden festgestellt. Die längerfristigen Trends zeigen, dass die MDMA-Belastungen im Abwasser 2018 in den meisten Städten mit mindestens sechs Datenpunkten höher waren als 2011, wobei in einigen Städten, u. a. in Antwerpen und Amsterdam, ein drastischer Anstieg zu verzeichnen war. Für die meisten Städte, die für den Zeitraum 2011-2016 einen starken Anstieg verzeichneten, scheint sich der Trend 2017 stabilisiert zu haben. Allerdings weisen die jüngsten Daten 2018 auf einen Anstieg in den meisten Städten hin.

Insgesamt weisen die Daten aus den sieben Überwachungskampagnen in Bezug auf Amphetamin und Methamphetamin auf keine wesentlichen Veränderungen der allgemeinen Konsummuster hin. Die neuesten verfügbaren Daten zeigen jedoch, dass von den 38 Städten, aus denen Daten für 2017 und 2018 verfügbar sind, 21 einen Anstieg

Begriffe und Begriffsbestimmungen

Rückrechnung ist das Verfahren, bei dem Forscher den Konsum illegaler Drogen in der Bevölkerung anhand der Menge entsprechender Drogenrückstände, die in die Kläranlage gelangt sind, berechnen bzw. schätzen.

Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie (LC/MS/MS) ist die am häufigsten angewandte analytische Methode zur Quantifizierung von Drogenrückständen im Abwasser. LC-MS/MS ist ein analytisches chemisches Verfahren, das die Trennmethode der Flüssigkeitschromatographie mit den Analysemöglichkeiten der Massenspektrometrie verbindet. Angesichts der Komplexität und der erwarteten niedrigen Konzentrationen im Abwasser ist die LC-MS/MS aufgrund ihrer Empfindlichkeit und Selektivität eine der wirkungsvollsten Techniken für diese Analyse.

Metabolit

Spuren konsumierter Drogen gelangen entweder unverändert oder als Gemisch von Metaboliten in das Kanalisationsnetz. Metaboliten sind die Endprodukte des Stoffwechsels, die produziert werden, wenn der Körper die Drogen abbaut.

Rückstand

Die Abwasseranalyse stützt sich auf den Umstand, dass wir Spuren von nahezu allem, was wir zu uns nehmen, darunter auch illegale Drogen, mit unserem Urin ausscheiden. Der Zieldrogenrückstand ist das, was nach der Ausscheidung im Abwasser verbleibt; er wird genutzt, um den Konsum illegaler Drogen in der Bevölkerung zu messen.

Urin-Biomarker

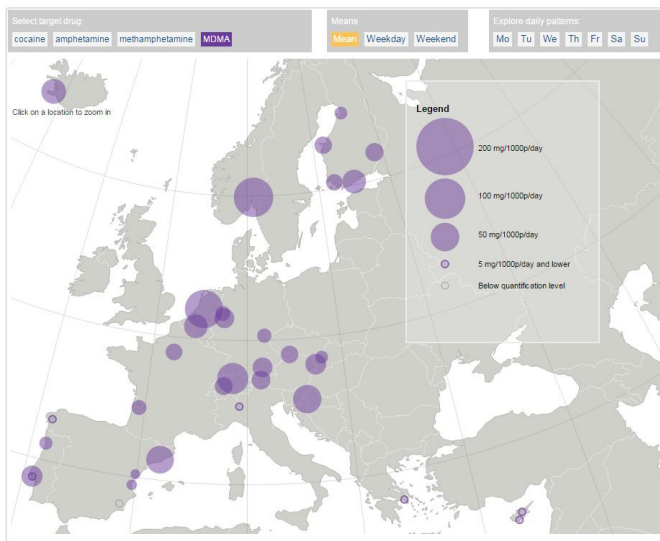
Analytische Chemiker suchen in Abwasserproben nach Urin-Biomarkern (messbare Eigenschaften zur Berechnung des Drogenkonsums der Bevölkerung); dies können die Muttersubstanz (d. h. die Primärschubstanz) oder ihre Metaboliten im Urin sein.

bei Amphetamin verzeichneten, wobei die gemessenen Belastungen an den Wochenenden höher waren.

Vergleich mit Ergebnissen anderer Überwachungsinstrumente

Da die Abwasseranalyse (kollektiver Konsum der Substanzen innerhalb einer Gemeinschaft) und bewährte Überwachungsinstrumente, wie etwa Erhebungen in der Bevölkerung (Prävalenz im letzten Monat oder Jahr), verschiedene Arten von Informationen liefert, ist ein direkter Vergleich der Daten schwierig. Jedoch stimmen die Muster

Interaktiv



Interaktiv: Erforschen Sie die Daten der Studie:
emcdda.europa.eu/topics/pods/waste-water-analysis

und Trends, die durch die Abwasseranalyse festgestellt wurden, weitgehend, aber nicht vollständig mit den Analysen anhand anderer Überwachungsinstrumente überein.

So vermitteln Daten aus Beschlagnahmungen und aus der Abwasseranalyse beide das Bild eines geografisch uneinheitlichen Marktes für Stimulanzien in Europa, wobei Kokain im Süden und Westen eine höhere Prävalenz aufweist, während Amphetamine häufiger in mittel- und nordeuropäischen Ländern vorkommen (EMCDDA, 2017). Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in Daten aus Erhebungen in der Bevölkerung zum Drogenkonsum. Während das im Abwasser festgestellte Muster im Allgemeinen mit bewährten Überwachungsinstrumenten übereinstimmt, gibt es einige Ausnahmen: Die Amphetamin-Belastungen im Abwasser in Paris liegen in den aufeinander folgenden jährlichen Kampagnen zur Abwasserüberwachung unterhalb der Nachweisgrenze, was den Befunden anderer Überwachungsinstrumente jedoch widerspricht.

Daten bewährter Indikatoren zeigen, dass der Methamphetamin-Konsum in der Vergangenheit auf Tschechien und zuletzt auch auf die Slowakei begrenzt war, obwohl in den letzten Jahren ein zunehmender Konsum in anderen Ländern beobachtet wurde (EMCDDA, 2016a). Diese Befunde werden durch aktuelle abwasserbasierte epidemiologische Untersuchungen bestätigt, in denen die höchsten Methamphetamin-Belastungen in tschechischen, slowakischen, spanischen, deutschen und finnischen Städten festgestellt wurden.

Bewährte Indikatoren zeigen, dass die MDMA-Prävalenz bis vor Kurzem in vielen Ländern abnahm, wobei die Spitzenwerte Anfang und Mitte der 2000er Jahre gemessen wurden. Abwasserdaten und Daten bewährter Indikatoren zeigen, dass sich dies zu ändern scheint. So meldete die

überwiegende Mehrheit der Städte 2016 oder 2017 höhere MDMA-Belastungen im Abwasser als 2011.

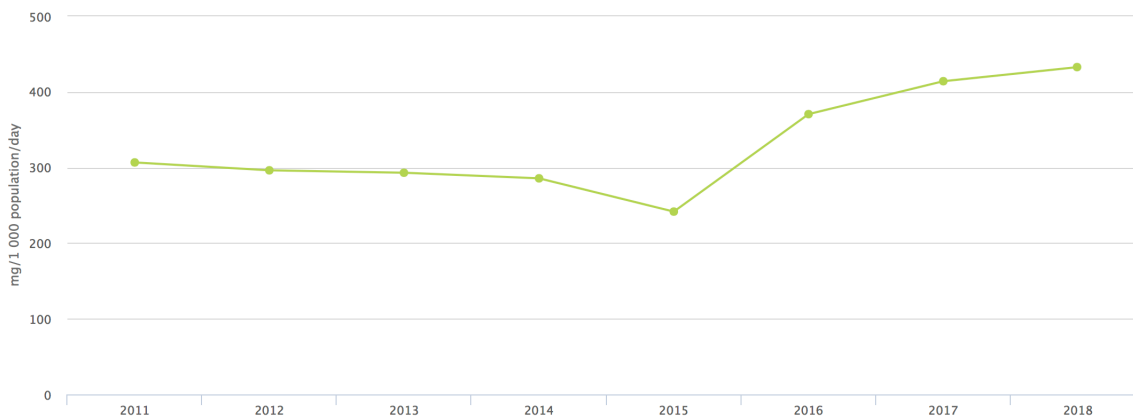
Vor Kurzem wurde in einer Trendforschungsstudie der EMCDDA des Jahres 2018, bei der zahlreiche Datenquellen analysiert wurden, festgestellt, dass die höhere Verfügbarkeit von Kokain auf den Drogenmärkten in Europa dazu führen könnte, dass der Konsum in manchen Ländern zunehmen und sich möglicherweise auf Osteuropa ausdehnen könnte, wo die Droge früher kaum konsumiert wurde. Der in einer Reihe von allgemeinen Erhebungen in der Bevölkerung für mehrere Jahre berichtete Rückgang des Kokain-Konsums im letzten Jahr hat offenbar aufgehört, und dem allgemeinen Bild zufolge scheint sich der Konsum auf einem stabilen Niveau einzupendeln. Demgegenüber ergeben Abwasseranalysen in den meisten Städten, für die für die Jahre 2015 und 2018 Daten vorlagen, eine Zunahme der Kokainrückstände. Diese Daten weisen zwar eindeutig auf einen steigenden Trend bei den Rückständen im Zeitraum 2015 bis 2018 hin, doch bleiben Fragen nach den Gründen für den Anstieg der Kokainmetaboliten offen. Der Anstieg könnte zwar ein Hinweis darauf sein, dass mehr Menschen Kokain konsumieren, doch könnte er auch bedeuten, dass dieselben Menschen mehr Kokain konsumieren. Es ist aber auch denkbar, dass dieser Anstieg ganz einfach nur den gestiegenen Reinheitsgrad von Kokain in Europa widerspiegelt, mit der Folge, dass mehr Metaboliten im Abwasser nachgewiesen werden können. Dieser Anstieg könnte aber auch auf eine Kombination aller drei genannten Ursachen zurückgeführt werden (EMCDDA, 2018).

Ebenso deuten Studien, die sich jeweils auf den selbstberichteten Drogenkonsum und auf Abwasserdaten stützen, auf dieselben wöchentlichen Unterschiede im Konsum hin, wobei Stimulanzien wie Amphetamin und Kokain in erster Linie auf am Wochenende stattfindenden Musikveranstaltungen und im Zusammenhang mit der Feierkultur konsumiert werden (Tossmann et al., 2001).

Es wird eine begrenzte, aber stetig steigende Anzahl von Studien veröffentlicht, in denen Schätzungen des Drogenkonsums mittels Abwasseranalysen und Schätzungen aus epidemiologischen Erhebungen miteinander verglichen werden (EMCDDA, 2016b; van Wel et al., 2015). Während 2012 lediglich in einer berichteten Studie der Versuch unternommen wurde, die Abwasseranalyse im Vergleich zu herkömmlichen epidemiologischen Verfahren zu beurteilen (Reid et al., 2012), hat sich diese Zahl mittlerweile auf über 20 veröffentlichte Forschungsartikel erhöht, die sich mit einem Vergleich der durch eine Abwasseranalyse ermittelten Daten und der anhand anderer Indikatoren erhobenen Daten befassen.

Eine erste Studie, die in Oslo, Norwegen, durchgeführt und 2012 veröffentlicht wurde, verglich die Ergebnisse von drei verschiedenen Datensätzen (eine Erhebung in der

ABBILDUNG 1
Kumulierte Trends bei Kokainrückständen in 10 europäischen Städten, 2011 bis 2018



NB: Trends bei mittleren Tagesmengen von Benzoyllecgonin in Milligramm pro 1 000 Einwohner in Antwerp Zuid (BE), Barcelona, Castellon und Santiago (ES), Paris Seine Centre (FR), Zagreb (HR), Mailand (IT), Eindhoven und Utrecht (NL) und Oslo (NO). Diese zehn Städte wurden aufgrund der Verfügbarkeit von jährlichen Daten für 2011-2018 ausgewählt.

Allgemeinbevölkerung, eine Umfrage auf der Straße und eine Abwasseranalyse) (Reid et al., 2012).

Andere, aktuellere Studien vergleichen und korrelieren abwasserbasierte Schätzungen des Konsums illegaler Drogen mit anderen Datenquellen, u. a. mit Selbstauskünften (Been et al., 2015; Castiglioni et al., 2016; van Wel et al., 2016a), Konsumdelikten (Been et al., 2016a), Beschlagnahmungen illegaler Drogen (Baz-Lomba et al., 2016; Kankaanpää et al., 2014, 2016), Reinheitsgrad beschlagnahmter Drogen (Bruno et al., 2018), Schätzungen der Spritzenabgabe (Been et al., 2015), toxikologischen Daten (Kankaanpää et al., 2014, 2016) sowie der Anzahl der in Behandlung befindlichen Drogenkonsumenten (Krizman et al., 2016).

Die Vergleichsstudien wurden mehrheitlich in Europa durchgeführt, u. a. in Belgien (van Wel et al., 2016a), Kroatien (Krizman et al., 2016), Deutschland (Been et al., 2016a), Finnland (Kankaanpää et al., 2014, 2016), Italien (Castiglioni et al., 2016), Spanien (Bijlsma et al., 2018), in der Schweiz (Been et al., 2015; Been et al., 2016b), der Türkei (Daglioglu, 2019) und länderübergreifend (Baz-Lomba et al., 2016, Castrignanò et al., 2018, Löve et al., 2018). Außerhalb Europas wurden in den letzten Jahren Studien veröffentlicht, die abwasserbasierte Schätzungen mit anderen Datenquellen in China (Du et al., 2015), Australien (Tschärke et al., 2015) und in Ländern vergleichen, in denen die Menge der Daten zum Drogenkonsum aufgrund finanzieller Zwänge oder fehlender Überwachungsinstrumente begrenzt ist (Archer et al., 2018; Moslah et al., 2018; Nguyen et al., 2018).

Diese Beispiele bestätigen, dass der abwasserbasierten Epidemiologie als komplementärem Ansatz zur Gewinnung eines genaueren und ausgewogeneren Bildes des

Drogenkonsums innerhalb verschiedener Gemeinschaften in Zukunft große Bedeutung beigemessen wird.

Abwasseranalysen können die Ergebnisse von Erhebungen in der Bevölkerung vorhersagen und bei der Feststellung neuer Trends des Drogenkonsums als „Frühwarn“-Instrument verwendet werden. Zur Prüfung der Qualität und Genauigkeit der Daten sind weitere Vergleiche zwischen der Abwasseranalyse und Daten, die durch andere Indikatoren gewonnen wurden, notwendig.

Grenzen dieser Methode

Die Abwasseranalyse stellt zwar eine interessante ergänzende Datenquelle für die Überwachung der Mengen von auf Bevölkerungsebene konsumierten illegalen Drogen dar, doch liefert sie keine Informationen zur Prävalenz und zur Häufigkeit des Konsums, zu den Hauptkonsumentengruppen und zum Reinheitsgrad der Drogen. Zusätzliche Herausforderungen ergeben sich durch Unsicherheiten im Zusammenhang mit dem Verhalten der ausgewählten Biomarker in der Abwasserleitung, verschiedenen Rückrechnungsmethoden und verschiedenen Ansätzen zur Schätzung der Größe der untersuchten Bevölkerungsgruppe (Castiglioni et al., 2013, 2016; Lai et al., 2014; EMCDDA, 2016b). Die Schwierigkeiten bei der Auswahl der Analyseziele für Heroin beispielsweise machen die Überwachung dieser Droge im Abwasser im Vergleich zu anderen Substanzen komplizierter (Been et al., 2015). Außerdem schwankt der Reinheitsgrad von Produkten im Straßenhandel auf unvorhersehbare Weise im Zeitverlauf und an verschiedenen Standorten. Ferner ist die Umrechnung der konsumierten Gesamtmenge in die entsprechende Anzahl an durchschnittlichen Einzeldosen kompliziert, da Drogen auf unterschiedlichen Wegen und in sehr unterschiedlichen

Mengen eingenommen werden können und sie sehr unterschiedliche Reinheitsgrade aufweisen (Zuccato et al., 2008).

Es werden Anstrengungen unternommen, um die Ansätze zur Abwasserüberwachung zu verbessern. So wurde beispielsweise an der Beseitigung einer wichtigen Unsicherheitsquelle gearbeitet, die mit der Schätzung der Anzahl der Personen zusammenhängt, die sich zum Zeitpunkt der Probenahme in einem Abwassereinzugsgebiet aufhalten. Dabei wurden Daten mobiler Geräte genutzt, um die dynamische Bevölkerungsgröße für die abwasserbasierte Epidemiologie besser schätzen zu können (Thomas et al., 2017).

Neue Entwicklungen und die Zukunft

Die abwasserbasierte Epidemiologie hat sich zu einem wichtigen Instrument für die Überwachung des Konsums illegaler Drogen entwickelt, und künftige Richtungen der Abwasserforschung wurden erkundet (EMCDDA, 2016b).

Erstens wurde die Abwasseranalyse als Instrument vorgeschlagen, um einige der Herausforderungen im Zusammenhang mit dem dynamischen Markt der neuen psychoaktiven Substanzen (NPS) zu bewältigen. Dies beinhaltet die große Anzahl an einzelnen NPS, die relativ niedrige Prävalenz des Konsums und die Tatsache, dass viele Konsumenten nicht genau wissen, welche Substanzen sie konsumieren. Es wurde ein Verfahren zur Identifikation von NPS entwickelt, welches die Entnahme und Analyse von Mischurin aus alleinstehenden, tragbaren Urinalen in Nachtlokalen, Stadtzentren und auf Musikfestivals beinhaltet. Dadurch werden zeitnahe Daten zu exakt jenen NPS geliefert, die an einem bestimmten Ort zu dem Zeitpunkt konsumiert werden (Archer et al., 2013a, 2013b, 2015; Causanilles et al., 2017b; Kinyua, et al., 2016; Mackulak et al., 2019; Mardal et al., 2017; Reid et al., 2014;). Das europäische Projekt „NPS euronet“ zielte darauf ab, die Fähigkeit zur Identifikation und Bewertung der in Europa konsumierten NPS zu verbessern. Im Rahmen des Projekts wurden innovative analytische chemische und epidemiologische Methoden und ein robustes Risikobewertungsverfahren angewandt, um die Identifikation von NPS zu verbessern, Risiken zu bewerten und das Ausmaß und die Konsummuster in bestimmten Gruppen (z. B. auf Musikfestivals) und in der Bevölkerung zu schätzen (Bade et al., 2017; González-Mariño et al., 2016).

Zweitens ließen sich über die Schätzung des illegalen Drogenkonsums hinaus mit Hilfe von abwasserbasierter Epidemiologie in den letzten Jahren erfolgreich detaillierte Informationen über den Konsum und Missbrauch von Alkohol (Boogaerts et al., 2016; Mastroianni et al., 2017; Rodríguez-Álvarez et al., 2015), Tabak (Senta et al., 2015; van Wel et al.,

2016b) und Arzneimitteln in einer bestimmten Population (Baz-Lomba et al., 2016, 2017; Been et al., 2015; Krizman-Matasic et al., 2018; Salvatore et al., 2016,) gewinnen. Des Weiteren kann die Abwasseranalyse potenziell Informationen über Gesundheits- und Krankheitsindikatoren innerhalb einer Gemeinschaft liefern (Kasprzyk-Hordern et al., 2014; Thomaidis et al., 2016; Yang et al., 2015).

Drittens ist das Potenzial zur Nutzung von abwasserbasierter Epidemiologie als Instrument zur Ergebnismessung, insbesondere bei der Bewertung der Wirksamkeit von Interventionen, die auf das Angebot (z. B. Strafverfolgung) oder die Nachfrage nach Drogen (z. B. Kampagnen im Bereich der öffentlichen Gesundheit) abzielen, noch nicht vollständig erforscht. Eine enge Zusammenarbeit der verschiedenen beteiligten Interessengruppen, einschließlich Epidemiologen, Abwasserexperten und Justizbehörden, wird nachdrücklich empfohlen, um die Untersuchung dieser potenziellen Anwendungen von abwasserbasierter Epidemiologie einzuleiten (EMCDDA, 2016b). Das Projekt WATCH umfasste eine Kampagne, bei der 30 Tage lang in drei Städten in Belgien und den Niederlanden die Produktion synthetischer Drogen überwacht wurde. Während des gesamten Überwachungszeitraums wurden in einer Stadt in den Niederlanden hohe Konzentrationen von MDMA beobachtet, was die Vermutung nahelegt, dass kontinuierlich nicht konsumiertes MDMA aus Quellen im Einzugsgebiet ins Abwasser eingeleitet wurde, was auf eine umfangreiche Drogenproduktion in dieser Region hinweist.

Viertens kann die Abwasseranalyse durch eine Rückrechnung der täglichen Belastungen der Kanalisation mit den Zielrückständen Schätzungen des Gesamtkonsums liefern. Man bemüht sich nun besonders um die Ermittlung der besten Verfahren zur Schätzung jährlicher Durchschnitte. 2016 legte die EMCDDA zum ersten Mal Schätzungen über die Marktgröße des Kleinverkaufs illegaler Drogen in Bezug auf die Menge und den Wert der konsumierten Hauptsubstanzen vor (EMCDDA und Europol, 2016c). Die Befunde von Abwasseranalysen werden voraussichtlich helfen können, die Arbeit in diesem Bereich weiterzuentwickeln.

Abschließend ist anzumerken, dass neue Methoden, wie etwa die Erstellung von Profilen von Enantiomeren, entwickelt wurden, um zu bestimmen, ob massive Belastungen von Drogen im Abwasser auf den Konsum, auf die Entsorgung nicht konsumierter Drogen oder auf Produktionsabfälle zurückzuführen sind. Es ist nun wichtig, den möglichen Nutzen der Abwasseranalyse für Berichte über Dynamiken des Drogenangebots, einschließlich der Produktion synthetischer Drogen, zu beurteilen (Emke et al., 2014). So wurde beispielsweise die Störung an einer kleinen Kläranlage in den Niederlanden aus der letzten Zeit durch unmittelbare Einleitungen chemischer Abfälle aus einer Produktionsstätte

von Drogen in die Kanalisation verursacht. Eine weitere Analyse brachte den eigentlichen Syntheseprozess zur Herstellung der entsprechenden Drogen zutage. Die Studie bestätigte, dass die chemischen Abfälle aus der illegalen Herstellung von Stimulanzien zu einem bestimmten chemischen Fingerabdruck führen werden, der im Abwasser rückverfolgt und für forensische Zwecke verwendet werden kann. Derartige Profile können herangezogen werden, um eine Drogenproduktion oder die Entsorgung von Abfällen aus einem Syntheseprozess im Abwassereinzugsgebiet zu erkennen (Emke et al., 2018).

Die Abwasseranalyse hat ihr Potenzial als nützliche Ergänzung zu bewährten Überwachungsinstrumenten im Bereich Drogen bewiesen. Sie hat einige klare Vorteile gegenüber anderen Ansätzen, da sie nicht Gegenstand einer Antwortverzerrung oder Schweigeverzerrung ist und das wahre Spektrum der konsumierten Drogen besser identifizieren kann, da Konsumenten die tatsächliche Mischung der von ihnen eingenommenen Substanzen oftmals nicht kennen. Dieses Instrument hat das Potenzial, zeitnahe Informationen in kurzen Zeitfenstern zu geografischen und zeitlichen Trends zu liefern. Zur Prüfung der Qualität und Genauigkeit der Daten sind weitere Vergleiche zwischen der Abwasseranalyse und Daten, die durch andere Indikatoren gewonnen wurden, notwendig.

Die Methode der Abwasseranalyse hat sich von einem experimentellen Verfahren zu einer neuen Methode im Rahmen des epidemiologischen Instrumentariums entwickelt. Ihre Fähigkeit, schnell neue Trends zu ermitteln, kann dabei helfen, Programme im Bereich der öffentlichen Gesundheit und politische Initiativen auf bestimmte Gruppen von Menschen und die verschiedenen Drogen, die sie konsumieren, auszurichten.

Die europaweite Studie 2018, die über 70 Städte umfasst, ergab ein Bild von unterschiedlichen geografischen und zeitlichen Mustern des Drogenkonsums in europäischen Städten. Die Daten der Studie können auf zwei verschiedene Arten dargestellt werden: Sie können die Daten auf einer Karte anzeigen oder ein speziell entwickeltes Diagramm-Werkzeug verwenden. Sie können jederzeit zwischen den beiden Ansichten wechseln.

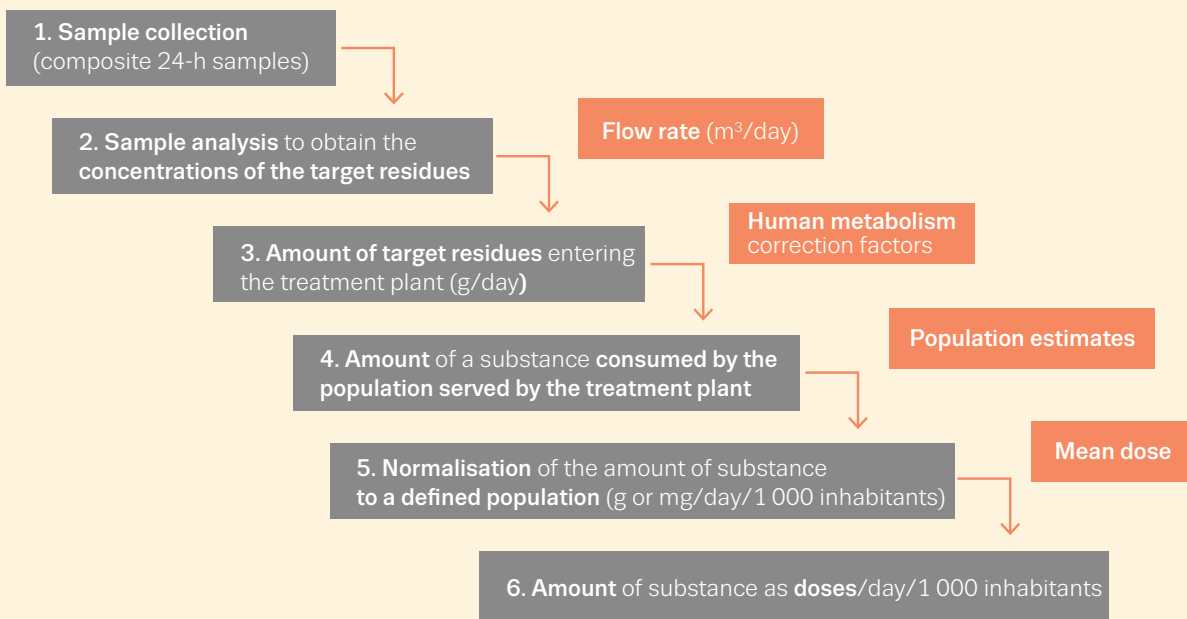
Erläuterung der Abwassermethode und Auseinandersetzung mit ethischen Fragen

Um die Höhe des Drogenkonsums anhand des Abwassers zu schätzen, versuchen die Forscher zunächst, Drogenrückstände zu ermitteln und zu quantifizieren, und sodann die Menge der illegalen Drogen, die von der an Kläranlagen angeschlossenen Bevölkerung konsumiert wird, zurückzurechnen (Castiglioni et al., 2014). Dieser Ansatz umfasst mehrere Schritte (siehe Abbildung). Zunächst werden in einem abgegrenzten geografischen Gebiet Mischproben von unbehandeltem Abwasser aus der Kanalisation genommen. Anschließend werden diese Proben analysiert, um die Konzentrationen der Zieldrogenrückstände zu bestimmen. Danach wird der Drogenkonsum durch Rückrechnung geschätzt, indem die Konzentration des jeweiligen Zieldrogenrückstands (ng/l) mit dem entsprechenden Zufluss aus der Kanalisation (l/Tag) multipliziert wird. Ein Korrekturfaktor für die jeweilige Droge wird als Teil der Rechnung berücksichtigt. In einem letzten Schritt wird das Ergebnis durch die an die Kläranlage angeschlossene Bevölkerung dividiert, woraus sich die Menge einer Substanz ergibt, die pro Tag pro 1 000 Einwohner konsumiert wird. Bevölkerungsschätzungen können unter Zuhilfenahme verschiedener biologischer Parameter, Erhebungsdaten, der Zahl der Hausanschlüsse oder der Auslegungskapazität berechnet werden, aber insgesamt ist die Variabilität der verschiedenen Schätzungen in der Regel sehr hoch.

Wenngleich mit der Abwasseranalyse in erster Linie Trends des illegalen Drogenkonsums in der Allgemeinbevölkerung untersucht werden, wurde sie auch auf kleine Gemeinschaften angewandt, darunter Arbeitsstätten, Schulen (Zuccato et al., 2017), Musikfestivals, Haftanstalten (Nefau et al., 2017) und bestimmte Stadtviertel (Hall et al., 2012).

Der Einsatz dieser Methode in kleinen Gemeinschaften kann ethische Risiken bergen (Prichard et al., 2014), wie z. B. die mögliche Ermittlung einer bestimmten Gruppe innerhalb der Gemeinschaft.

Die SCORE-Gruppe veröffentlichte 2016 ethische Leitlinien für abwasserbasierte Epidemiologie und verwandte Gebiete (Prichard et al., 2016). Ziel dieser Leitlinien ist es, die wichtigsten potenziellen ethischen Risiken für die Abwasserforschung aufzuzeigen und Strategien zur Verminderung dieser Risiken vorzuschlagen. Risiken zu verringern heißt, die Wahrscheinlichkeit negativer Ereignisse zu senken und/oder die Folgen negativer Ereignisse zu minimieren.



Quelle: Castiglioni et al., 2013a

Literaturverzeichnis

- Archer, J. R. H., Dargan, P. I., Hudson, S. and Wood, D. M. (2013a), 'Analysis of anonymous pooled urinals in central London confirms the significant use of novel psychoactive substances', *QJM*, 106(2), pp. 147–152.
- Archer, J. R. H., Hudson, S., Wood, D. M. and Dragan, P. I. (2013b), 'Analysis of urine from pooled urinals: a novel method for the detection of novel psychoactive substances', *Current Drug Abuse Reviews*, online publication, 5 December.
- Archer, J. R. H., Hudson, S., Jackson, O. (2015), 'Analysis of anonymized pooled urine in nine UK cities: variation in classical recreational drug, novel psychoactive substance and anabolic steroid use', *QJM*, 108 (12), pp. 929–933.
- Archer, E., Castrignanò, E., Kasprzyk-Hordern, B., Wolfaardt, G. M. (2018), 'Wastewater-based epidemiology and enantiomeric profiling for drugs of abuse in South African wastewaters', *Science of the Total Environment* 625, pp.7928–00.
- Bade, R., Bijlsma, L., Sancho, J. et al. (2017), 'Liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination of synthetic cathinones and phenethylamines in influent wastewater of eight European cities', *Chemosphere* 168, pp.10321–041.
- Baz-Lomba, J. A., Salvatore, S., Gracia-Lor, E., et al. (2016), 'Comparison of pharmaceutical, illicit drug, alcohol, nicotine and caffeine levels in wastewater with sale, seizure and consumption data for 8 European cities', *BMC Public Health*, 16, 1, 1035.
- Baz-Lomba, J. A., Harman, C., Reid, M. and Thomas, K. V. (2017), 'Passive sampling of wastewater as a tool for the long-term monitoring of community exposure: Illicit and prescription drug trends as a proof of concept', *Water Research* 121, pp.2212–30.
- Been, F., Benaglia, L., Lucia, S., et al. (2015), 'Data triangulation in the context of opioids monitoring via wastewater analyses', *Drug and Alcohol Dependence*, 151, pp. 203–210.
- Been, F., Bijlsma, L., Benaglia, L., et al. (2016a), 'Assessing geographical differences in illicit drug consumption: A comparison of results from epidemiological and wastewater data in Germany and Switzerland', *Drug and Alcohol Dependence* 161, pp. 189–199.
- Been, F., Schneider, C., Zobel, F., Delémont, O., Esseiva, P. (2016b), 'Integrating environmental and self-report data to refine cannabis prevalence estimates in a major urban area of Switzerland', *International Journal of Drug Policy*, 36, pp. 33–40.
- Bijlsma, L., Celma, A., González-Mariño, I., et al. (2018), 'Wastewater-based epidemiology: applications towards the estimation of drugs of abuse consumption and public health in general. The Spanish network ESAR-Net', *Revista Española de Salud Pública*, 92. pii: e201808053.
- Boogaerts, T., Covaci, A., Kinyua, J., et al. (2016), 'Spatial and temporal trends in alcohol consumption in Belgian cities: A wastewater-based approach', *Drug and Alcohol Dependence* 160, pp. 170–176.
- Bramness, J.G., Reid M.J., Solvik, K.F. and Vindenes, V. (2014), 'Recent trends in the availability and use of amphetamine and methamphetamine in Norway', *Forensic Science International*, 246, pp. 92–97.
- Bruno, R., Edirisinghe, M., Hall, W., Mueller, J. F., Lai, F. Y., O'Brien J. W., Thai, P. K. (2018), 'Association between purity of drug seizures and illicit drug loads measured in wastewater in a South East Queensland catchment over a six year period', *Science of the Total Environment* 635, pp. 779–783.

- Archer, J. R. H., Dargan, P. I., Hudson, S. and Wood, D. M. (2013a), 'Analysis of anonymous pooled urinals in central London confirms the significant use of novel psychoactive substances', *QJM*, 106(2), pp. 147–152.
- Archer, J. R. H., Hudson, S., Wood, D. M. and Dragan, P. I. (2013b), 'Analysis of urine from pooled urinals: a novel method for the detection of novel psychoactive substances', *Current Drug Abuse Reviews*, online publication, 5 December.
- Archer, J. R. H., Hudson, S., Jackson, O. (2015), 'Analysis of anonymized pooled urine in nine UK cities: variation in classical recreational drug, novel psychoactive substance and anabolic steroid use', *QJM*, 108 (12), pp. 929–933.
- Archer, E., Castrignanò, E., Kasprzyk-Hordern, B., Wolfaardt, G. M. (2018), 'Wastewater-based epidemiology and enantiomeric profiling for drugs of abuse in South African wastewaters', *Science of the Total Environment* 625, pp.7928–00.
- Bade, R., Bijlsma, L., Sancho, J. et al. (2017), 'Liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination of synthetic cathinones and phenethylamines in influent wastewater of eight European cities', *Chemosphere* 168, pp.10321–041.
- Baz-Lomba, J. A., Salvatore, S., Gracia-Lor, E., et al. (2016), 'Comparison of pharmaceutical, illicit drug, alcohol, nicotine and caffeine levels in wastewater with sale, seizure and consumption data for 8 European cities', *BMC Public Health*, 16, 1, 1035.
- Baz-Lomba, J. A., Harman, C., Reid, M. and Thomas, K. V. (2017), 'Passive sampling of wastewater as a tool for the long-term monitoring of community exposure: Illicit and prescription drug trends as a proof of concept', *Water Research* 121, pp.2212–30.
- Been, F., Benaglia, L., Lucia, S., et al. (2015), 'Data triangulation in the context of opioids monitoring via wastewater analyses', *Drug and Alcohol Dependence*, 151, pp. 203–210.
- Been, F., Bijlsma, L., Benaglia, L., et al. (2016a), 'Assessing geographical differences in illicit drug consumption: A comparison of results from epidemiological and wastewater data in Germany and Switzerland', *Drug and Alcohol Dependence* 161, pp. 189–199.
- Been, F., Schneider, C., Zobel, F., Delémont, O., Esseiva, P. (2016b), 'Integrating environmental and self-report data to refine cannabis prevalence estimates in a major urban area of Switzerland', *International Journal of Drug Policy*, 36, pp. 33–40.
- Boogaerts, T., Covaci, A., Kinyua, J., et al. (2016), 'Spatial and temporal trends in alcohol consumption in Belgian cities: A wastewater-based approach', *Drug and Alcohol Dependence* 160, pp. 170–176.
- Bramness, J.G., Reid M.J., Solvik, K.F. and Vindenes, V. (2014), 'Recent trends in the availability and use of amphetamine and methamphetamine in Norway', *Forensic Science International*, 246, pp. 92–97.
- Castiglioni, S., Borsotti, A., Riva, F. and Zuccato, E. (2016), 'Illicit drug consumption estimated by wastewater analysis in different districts of Milan: A case study', *Drug and Alcohol Review* 35, pp. 128–132.
- Castiglioni, S., Thomas, K. V., Kasprzyk-Hordern, B., Vandam, L. and Griffiths, P. (2014), 'Testing wastewater to detect illicit drugs: State of the art, potential and research needs', *Science of the Total Environment* 487, pp. 613–620.
- Castiglioni, S., Bijlsma, L., Covaci A., et al. (2013), 'Evaluation of uncertainties associated with the determination of community drug use through the measurement of sewage drug biomarkers', *Environmental Science and Technology*, 47(3), pp. 1452–1460.
- Castrignanò, E., Yang, Z., Bade, R., et al. (2018), 'Enantiomeric profiling of chiral illicit drugs in a pan-European study', *Water Research* 130, pp.1511–60.
- Causanilles, A., Baz-Lomba, J. A., Burgard, D. A., et al. (2017a), 'Improving wastewater-

based epidemiology to estimate cannabis use: Focus on the initial aspects of the analytical procedure', *Analytica Chimica Acta* 988, pp. 273–3.

- | Causanilles, A., Kinyua, J., Ruttkies, C., et al. (2017b), 'Qualitative screening for new psychoactive substances in wastewater collected during a city festival using liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry', *Chemosphere* 184, pp. 11861–193.
- | Daughton, C.G. (2001), 'Emerging pollutants, and communicating the science of environmental chemistry and mass spectrometry: pharmaceuticals in the environment', *American Society for Mass Spectrometry*, 12, pp. 1067–1076.
- | Du, P. (2015), 'Methamphetamine and ketamine use in major Chinese cities, a nationwide reconnaissance through sewage-based epidemiology', *Water Research*, Volume 84, pp. 76–84.
- | EMCDDA (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction) (2016a), *European Drug Report: Tends and Developments*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- | EMCDDA (2016b), *Assessing illicit drugs in wastewater: Advances in wastewater-based drug epidemiology*, Insights, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- | EMCDDA and Europol (2016c), *EU Drug Markets Report*, Joint publications, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- | EMCDDA (2017), *European Drug Report: Tends and Developments*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- | Emke, E., Evans, S., Kasprzyk-Hordern, B. and de Voogt, P. (2014), 'Enantiomer profiling of high loads of amphetamine and MDMA in communal sewage: A Dutch perspective', *Science of The Total Environment* 487, pp.6666–72.
- | González-Mariño, I., Gracia-Lor, E., Rousis, N., et al. (2016), 'Wastewater-based epidemiology to monitor synthetic cathinones use in different European countries', *Environmental Science and Technology* 50, pp.10089–10096.
- | Hall, W., Prichard, J., Kirkbride, P., et al. (2012), 'An analysis of ethical issues in using wastewater analysis to monitor illicit drug use', *Addiction*, 107(10), pp. 1767–1773.
- | Kankaanpää, A., Ariniemi, K., Heinonen, M., Kuoppasalmi, K., Gunnar T. (2016), 'Current trends in Finnish drug abuse: Wastewater based epidemiology combined with other national indicators', *Science of the Total Environment*, 568, pp. 864–874.
- | Kasprzyk-Hordern, B., Bijlsma, L., Castiglioni, S., et al. (2014), 'Wastewater-based epidemiology for public health monitoring', *Water and Sewerage Journal*, 4, pp. 25-26.
- | Kinyua, J., Negreira, N., Miserez, B., et al. (2016), 'Qualitative screening of new psychoactive substances in pooled urine samples from Belgium and United Kingdom', *Science of the Total Environment*, 573, pp. 1527–1535.
- | Krizman, I., Senta, I., Ahel, M., Terzic, S. (2016), 'Wastewater-based assessment of regional and temporal consumption patterns of illicit drugs and therapeutic opioids in Croatia', *Science of the Total Environment*, 566-567, pp .454–462.
- | Krizman-Matasic, I., Kostanjevecki, P., Ahel, M. and Terzic, S. (2018), 'Simultaneous analysis of opioid analgesics and their metabolites in municipal wastewaters and river water by liquid chromatography-tandem mass spectrometry', *Journal of Chromatography A* 19, pp.1021–11.
- | Lai, F.Y. , Anuj, S., Bruno, R., et al. (2014), 'Systematic and day-to-day effects of chemical-derived population estimates on wastewater-based drug epidemiology', *Environmental Science and Technology* 49, pp. 999–1008.

- | Löve A. S. C., Baz-Lomba, J. A., Reid, M., et al. (2018), 'Analysis of stimulant drugs in the wastewater of five Nordic capitals', *Science of the Total Environment* 627, pp.10391–047.
- | Mardal, M., Kinyua, J., Ramin, P., et al. (2017), 'Screening for illicit drugs in pooled human urine and urinated soil samples and studies on the stability of urinary excretion products of cocaine, MDMA, and MDEA in wastewater by hyphenated mass spectrometry techniques', *Drug Testing and Analysis* 9, pp. 1061–14.
- | Mastroianni, N., López-García, E., Postigo, C., et al. (2017), 'Five-year monitoring of 19 illicit and legal substances of abuse at the inlet of a wastewater treatment plant in Barcelona (NE Spain) and estimation of drug consumption patterns and trends', *Science of the Total Environment* 609, pp. 9169–26.
- | Néfau, T., Sannier, O., Hubert, C., Karolak, S., Lévi, Y. (2017), 'Analysis of drugs in sewage: an approach to assess substance use, applied to a prison setting', Observatoire Français des Drogues et des Toxicomanies, Paris.
- | Ort, C., van Nuijs A.L.N., Berset J-D, et al. (2014), 'Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis', *Addiction*, 109, doi: 10.1111/add.12570
- | Prichard, J., Hall, W., de Voogt, P. and Zuccato, E. (2014), 'Sewage epidemiology and illicit drug research: the development of ethical research guidelines', *Science of the Total Environment*, 47(2), pp. 550–555.
- | Prichard, J., Hall, W., Zuccato, E., de Voogt, P., Voulvoulis, N., Kummerer, K., Kasprzyk-Hordern, B. et al. (2016), 'Ethical research guidelines for wastewater-based epidemiology and related fields': www.emcdda.europa.eu/activities/wastewater-analysis.
- | Reid, M. J., Langford, K. H., Grung, M., et al. (2012), 'Estimation of cocaine consumption in the community: a critical comparison of the results from three complimentary techniques', *BMJ Open*, 2(6).
- | Reid, M. J., Baz-Lomba, J. A., Ryu, Y. and Thomas, K. V. (2014), 'Using biomarkers in wastewater to monitor community drug use: a conceptual approach for dealing with new psychoactive substances', *Science of The Total Environment* 487, pp. 651–658.
- | Rodríguez-Álvarez, T., Racamonde, I., González-Mariño, I., et al. (2015), 'Alcohol and cocaine co-consumption in two European cities assessed by wastewater analysis', *Science of the Total Environment* 536, pp. 91–98.
- | Senta, I., Gracia-Lor, M., Borsotti, A., et al. (2015), 'Wastewater analysis to monitor use of caffeine and nicotine and evaluation of their metabolites as biomarkers for population size assessment', *Water Research* 74, pp. 23–33.
- | Thomaidis, N., Gago-Ferrero, P., Ort, C., et al. (2016), 'Reflection of socioeconomic changes in wastewater: licit and illicit drug use patterns', *Environmental Science & Technology* 50, 18 pp.100651–0072.
- | Thomas, K. V., Bijlsma, L., Castiglioni, S., et al. (2012), 'Comparing illicit drugs use in 19 European cities through sewage analysis', *Science of the Total Environment*, 432, pp. 432–439.
- | Thomas, K. V., Amador, A., Baz-Lomba, J. A. and Reid, M. (2017), 'Use of mobile device data to better estimate dynamic population size for wastewater-based epidemiology', *Environmental Science and Technology* 51, 19, pp. 113631–1370.
- | Tossmann, P., Boldt, S. and Tensil, M.-D. (2001), 'The use of drugs within the techno party scene in European metropolitan cities', *European Addiction Research*, 7(1), pp. 2–23.
- | Tscharke, B. J., Chen, C., Gerber, J. P., White, J. M. (2015), Trends in stimulant use in

- Australia: A comparison of wastewater analysis and population surveys', *Science of the Total Environment*, 536, pp. 331–337.
- | Van Nuijs, A., Mougel, J.-F., Tarcomnicu, I., et al. (2011), 'Sewage epidemiology: a real-time approach to estimate the consumption of illicit drugs in Brussels, Belgium', *Environment International*, 27, pp. 612–621.
 - | van Wel, J., Kinyua, J., van Nuijs, A., van Hal, G., Covaci, A. (2015), 'Methodological considerations for combining wastewater-based epidemiology with survey research', *Archives of Public Health*, 73, Suppl. 1, p. 29.
 - | van Wel, J. H. P., Kinyua, J., van Nuis, A. L. N., et al. (2016a), 'A comparison between wastewater-based drug data and an illicit drug use survey in a selected community', *International Journal of Drug Policy*, 34, pp. 20–26.
 - | van Wel, J. H. P., Gracia-Lor, E., van Nuijs, A. L. N., et al. (2016b), 'Investigation of agreement between wastewater-based epidemiology and survey data on alcohol and nicotine use in a community', *Drug and Alcohol Dependence* 162, pp. 170–175.
 - | Yang, Z., Anglès d'Auriac, M., Goggins, S., et al. (2015) 'A novel DNA biosensor using a ferrocenyl intercalator applied to the potential detection of human population biomarkers in wastewater', *Environmental Science and Technology* 49(9), pp. 5609–5617.
 - | Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Bagnati, R. and Fanelli, R. (2008), 'Estimating community drug abuse by wastewater analysis', *Environmental Health Perspectives*, 116(8), pp. 1027–1032.
 - | Zuccato, E., Castiglioni, S., Senta, I., et al. (2016), 'Population surveys compared with wastewater analysis for monitoring illicit drug consumption in Italy in 2010–2014', *Drug and Alcohol Dependence* 161, pp 178–188.
 - | Zuccato, E., Gracia-Lor, E., Rousis, N. I., Parabiaghi, A., Senta, I., Riva, F. and Castiglioni S.(2017), 'Illicit drug consumption in school populations measured by wastewater analysis', *Drug and Alcohol Dependence* 178, pp.2852–90.