

Trifluoressigsäure (TFA) – Gewässerschutz im Spannungsfeld von toxikologischem Leitwert, Trinkwasserhygiene und Eintragsminimierung

Erläuterungen zur Einordnung des neuen Trinkwasserleitwerts von 60 µg/L

Vorbemerkung: Der Begriff Leitwert (LW) birgt Verwechslungspotenzial. Denn so werden sowohl toxikologisch begründete Trinkwasserhöchstwerte als auch der pauschale Schwellenwert für nicht relevante Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Rahmen von Zulassungsverfahren bezeichnet – obwohl sie unterschiedlich hoch sind und verschiedene Anwendungsbereiche haben. Um einer Verwechslung vorzubeugen, wird im Folgenden der toxikologisch begründete Trinkwasserhöchstwert als LW_{TW} und der Schwellenwert aus den Zulassungsverfahren als LW_{PSM} bezeichnet.

Auf Basis einer verbesserten Datenlage konnte im Umweltbundesamt (UBA) im Mai 2020 ein toxikologisch begründeter LW_{TW} für den nicht in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) geregelten Parameter TFA im Trinkwasser abgeleitet werden [1,2]. Der LW_{TW} von 60 µg/L basiert auf der lebenslang tolerierbaren täglichen Aufnahmemenge von TFA über das Trinkwasser (Annahme: 2 L pro Tag), bei der keine Schädigung der menschlichen Gesundheit zu erwarten ist (vgl. § 6 (1) TrinkwV). Dieser Leitwert ersetzt den gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) von 3 µg/l [3]. GOW sind vorsorgebasierte Höchstwerte, die bei nicht vollständiger toxikologischer Datenlage Anwendung finden. Nach Veröffentlichung solider chronischer Versuchsdaten oder epidemiologischer Studien werden sie nach einer Neubewertung durch das UBA durch einen Leitwert ersetzt. Im Weiteren erläutern wir, wie dieser Leitwert LW_{TW} in den Gesamtkontext der Regulierungen und des Risikomanagements zu TFA einzuordnen ist.

Was bedeutet der neue Trinkwasserleitwert von 60 µg/L?

Kurz gesagt: Wir unterscheiden zwischen:

1. dem vom UBA neu abgeleiteten Leitwert von 60 µg/L – der „toxikologisch tolerierbaren Konzentration“ für das Trinkwasser, bei der den vorliegenden Erkenntnissen zufolge davon ausgegangen werden kann, dass der lebenslange Konsum nicht zu gesundheitlichen Schäden führt (LW_{TW}).
2. dem pauschalen Schwellenwert von 10 µg/L für nicht relevante PSM-Metaboliten, der in Deutschland für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln gilt (LW_{PSM}), und

3. den Erwägungen der Trinkwasserhygiene und des vorsorgenden Gewässerschutzes, Einträge von Chemikalien unabhängig von einem spezifischen chemikalienbezogenen Regelungsbereich und konkreten Gesundheitsgefahren gering zu halten.

Für die Abwehr von gesundheitlichen Gefahren

Der LW_{TW} ist von besonderer Bedeutung für jene Wasserversorger und Gesundheitsämter, deren Trinkwasserressourcen bereits stark mit TFA belastet sind. In solchen Fällen stellt sich für die Gesundheitsämter die akute Frage, ob das so belastete Trinkwasser an die Verbraucher abgegeben werden kann. Der LW_{TW} gibt für diese Abwägung eine toxikologisch begründete Orientierungshilfe.

Ein prominenter Anwendungsfall ist der Neckar, der durch große punktuelle Einleitungen bei Bad Wimpfen TFA-Konzentrationen von zeitweise 100 µg/L aufwies. Als Folge daraus konnte in den Brunnen der Region, mit denen Trinkwasser über Uferfiltration gewonnen wird, bis über 20 µg/L TFA nachgewiesen werden – welches aufgrund der Stoffeigenschaften (Nicht-Abbaubarkeit und hohe Mobilität) nur mit sehr großem technischem und finanziellem Aufwand entfernt werden kann. Die Einleitungen wurden inzwischen stark reduziert, doch werden dadurch die TFA-Werte erst mittelfristig sinken [4,5,6]. Der neue LW_{TW} von 60 µg/L zeigt an, dass bei den gemessenen Konzentrationen um 20 µg/L keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu erwarten ist.

Das bedeutet jedoch nicht, dass Konzentrationen bis 60 µg/L im Trinkwasser vom UBA als dauerhaft akzeptabel angesehen werden. Im Gegenteil: Das UBA spricht sich mit Veröffentlichung des neuen LW_{TW} erneut dafür aus, dass eine TFA-Konzentration im Trinkwasser von 10 µg/L oder weniger anzustreben ist. Denn neben dem LW_{TW} entscheiden auch trinkwasserhygienische Erwägungen im Sinne des Minimierungsgebots (§ 6 (3) TrinkwV), über die Trinkwasserqualität und sind somit für die Gesundheitsämter gleichermaßen relevant [2] (siehe folgender Abschnitt). Beim Vorliegen einer erheblichen, aber unter dem Leitwert liegenden Belastung kann das Trinkwasser zwar weiter vermarktet werden, es sollten aber Anstrengungen zum Senken der Belastung unternommen werden. Sind die Belastungen noch gering, sollte mit Vorbeugemaßnahmen ein Ansteigen der Belastung verhindert werden.

Für die Trinkwasserqualität und den Gewässerschutz

Der Gewässerschutz dient dem Schutz des Ökosystems inklusive der darin lebenden Organismen sowie dem vorsorgeorientierten Schutz der Trinkwasserressource. Für beide Schutzziele spielen neben öko- und humantoxikologischen Kennwerten auch Erwägungen der Trinkwasserhygiene und der Nachhaltigkeit eine große Rolle: Dem Minimierungsgebot folgend sollten Konzentrationen anthropogener Substanzen im Trinkwasser so gering wie möglich gehalten werden (§ 6 (3) TrinkwV). In Anlehnung an die Empfehlung des UBA wird in solchen Fällen ein Zielwert von 10 µg/L im Trinkwasser empfohlen [7]. Nach § 8 Abs. 1 OGEV ist darüber hinaus die Verschlechterung der Wasserqualität solcher Oberflächengewässer zu verhindern, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden – wodurch der Umfang der notwendigen Trinkwasseraufbereitung verringert werden soll. Auch die nachhaltige Gewässerbewirtschaftung gemäß § 6 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sowie weitere Anforderungen nach diesem Gesetz (u.a. §§ 48, 57 WHG) zielen darauf ab, derzeitige und künftige Nutzungen zu ermöglichen sowie die Funktions- und Lebensfähigkeit von Gewässern als Teil des Naturhaushalts zu erhalten.

Diese Vorgaben implizieren, dass die Einträge von TFA bereits an den Emissionsquellen so weit zu minimieren sind, wie es mit vertretbarem Aufwand möglich ist.

Für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie wurde vom UBA ein vorläufiger Vorschlag für eine Umweltqualitätsnorm (UQN) von 21 µg/l für Oberflächengewässer abgeleitet [8]. Dieser Vorschlag bezieht sich auf die pelagiale Gemeinschaft im Süßwasser. Zur Ableitung eines UQN-Vorschlags werden für unterschiedliche Schutzgüter Qualitätsstandards erstellt, von denen das empfindlichste ableitungsrelevant ist. Falls Überschreitungen der vorläufigen UQN gemessen werden, könnte der betroffene Stoff innerhalb einer Novelle der deutschen Oberflächengewässerverordnung (flussgebietsspezifischer Schadstoff) oder einer Novelle der EU-Richtlinie über Umweltqualitätsnormen im Wasserbereich (2008/105/EG; für den chemischen Zustand maßgeblicher Stoff) geregelt werden. Im Rahmen einer solchen Novelle würde die vorläufige UQN anhand des neuesten Kenntnisstandes zur Häufigkeit von Überschreitungen und weiterer Umweltdaten überprüft und es würde ein rechtlich verbindlicher UQN festgelegt werden. Es bleibt somit abzuwarten, ob, wann und in welcher Höhe eine UQN für TFA rechtsverbindlich auf EU- oder nationaler Ebene etabliert wird.

Für die Zulassung, das Risikomanagement und die nachhaltige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Der neue toxikologische LW_{TW} von 60 µg/L dient nicht als Grundlage für die Zulassungsentscheidung und dem damit verbundenen Risikomanagement von Pflanzenschutzmitteln. Für nicht relevante Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln, für die ein toxikologisches und ökotoxikologisches Risiko ausgeschlossen werden konnte, gilt hier weiterhin der pauschale LW_{PSM} von 10 µg/L gemäß der nationalen Umsetzung der geltenden EU-Leitlinie für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln. Demnach gilt es zu verhindern, dass nach einer Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nicht relevante Metaboliten in Konzentrationen von 10 µg/L oder höher in das Grundwasser eingetragen werden [10,11,12].

Auch die Kriterien für das Fundaufklärungsverfahren und die Pflanzenschutzmittel-Anwendungsbestimmung NG301 richten sich nach diesem LW_{PSM} . Sie haben das Ziel, erhöhte Konzentrationen von Pflanzenschutzmittelrückständen aufzuklären, ihnen entgegenzuwirken und die Einhaltung des LW_{PSM} von 10 µg/L für Einträge nicht relevanter Metaboliten in das Grundwasser sicherzustellen [13,14]. Darüber hinaus strebt der Nationale Aktionsplan für einen nachhaltigen Pflanzenschutz (NAP) an, Einträge nicht relevanter Metaboliten möglichst gering zu halten [15].

Warum sollten Einträge von TFA in die Umwelt minimiert werden?

Kurz gesagt: TFA-Einträge müssen langfristig betrachtet werden, denn TFA wird unter Umweltbedingungen nicht abgebaut, es verteilt sich gut im Wasserkreislauf und reichert sich bei konstanten Einträgen immer weiter in Oberflächengewässern und dem Grundwasser an.

Nicht abbaubar und nicht rückholbar

Das TFA-Molekül ist so stabil, dass es unter Umweltbedingungen nicht abgebaut werden kann. Das zeigen zahlreiche Studien in unterschiedlichen Umweltmedien [16]. Zudem ist TFA sehr mobil: Es adsorbiert kaum an Boden und Sediment und verteilt sich daher gut im Wasserkreislauf. Derzeit ist keine Methode bekannt, mit der TFA mit verhältnismäßigen Mitteln,

d.h. ohne sehr hohen technischen und finanziellen Aufwand, aus dem Wasserkreislauf entfernt werden könnte – auch nicht im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung [4,5,6,16].

Einmal ausgebracht, verbleibt der Stoff also auf unabsehbare Zeit im Wasserkreislauf und kann nicht zurückgeholt werden. Bei kontinuierlichen Einträgen in die Umwelt, z.B. durch Anwendung TFA emittierender Pflanzenschutzmittel, reichert sich TFA auch in allen Kompartimenten des Wasserkreislaufs stetig an: im Grundwasser, in Oberflächengewässern und den Ozeanen [22].

Hohe Belastung und steigende Einträge

Bereits heute sind die meisten Oberflächengewässer und flacheren Grundwasserkörper in Deutschland mit TFA belastet [6]. Viele Seen und Fließgewässer weisen Konzentrationen im mittleren einstelligen Mikrogramm pro Liter Bereich auf, einige Grundwasserkörper in landwirtschaftlich genutzten Gebieten haben Konzentrationen über 10 µg/L [6,17,18,19]. Diese Belastungen stammen aus wenigen Jahrzehnten der Nutzung fluorierter Chemikalien [6,20]. In einigen Bereichen, z. B. dem Pflanzenschutz, ist der Absatz potenziell TFA-bildender Stoffe in den letzten zehn Jahren kontinuierlich gestiegen [21]. Ebenfalls steigt der Absatz von TFA-bildenden Kältemitteln, die etwa in Pkw-Klimaanlagen eingesetzt werden [22]. Mittel- und langfristig ist bei kontinuierlichen und steigenden Einträgen von einer Vergrößerung der TFA-Belastung auszugehen – wobei derzeit nicht abgeschätzt werden kann, wie schnell und bis zu welcher Höhe die TFA-Konzentrationen ansteigen werden.

Unvorhersehbare Risiken

Jede Bewertung der Gesundheits- und Umweltfolgen von Chemikalien beinhaltet Unsicherheiten. Bereits für den Einzelstoff können mögliche Schädwirkungen unerkannt bleiben, weil die für die Bewertung verfügbare Datengrundlage begrenzt ist. In der Einzelstoffbewertung unberücksichtigt bleibt außerdem die komplexe Interaktion mit anderen Stoffen und verschiedenen Umweltmedien, deren Auswirkungen nicht in Gänze abgeschätzt werden können [23]. Durch die Nicht-Abbaubarkeit und die hohe Mobilität verteilt sich TFA innerhalb des Wasserkreislaufs und reichert sich mit der Zeit dort an. Diese unbestimmt lange Verweilzeit und steigende Konzentration erhöhen das Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit unvorhergesehener Auswirkungen – denn dadurch kommen in den Ökosystemen diverse Organismen und Stoffe mit TFA in Kontakt und sind dem über lange Zeit ausgesetzt. Sollten schädliche Effekte eintreten, sind diese nicht mehr zu korrigieren, denn TFA kann nicht aus der Umwelt zurückgeholt werden. Es gibt viele Beispiele von Chemikalien, deren komplexe und langfristige Auswirkungen auf die Gesundheit und Umwelt stark unterschätzt wurden – wie perfluorierte Chemikalien (PFC) oder DDT [23].

Aus diesen Erwägungen folgt zwar nicht, dass jegliche TFA-Einträge um jeden Preis vermieden werden müssen. Doch erfordert das hohe Schadensausmaß, das wegen der Nicht-Umkehrbarkeit von TFA-Einträgen in die Umwelt droht, im Vergleich zu besser abbaubaren Stoffen striktere Bemühungen um eine Minimierung des Eintrags [23]. Daher muss ein adäquates Management von TFA-Einträgen auch und gerade vor dem Hintergrund des neuen LW_{TW} unbedingt bestehen bleiben.

Erwartungen an die Reinheit des Trinkwassers

Das Trinkwasser in Deutschland erfüllt hohe Qualitätskriterien – entsprechend hoch ist die Erwartung der Bürgerinnen und Bürger an die Art und Höhe von stofflichen Rückständen im Trinkwasser [24,25]. Nicht zuletzt deshalb bemühen sich viele Wasserversorger um eine Reduktion von TFA-Einträgen in Wassergewinnungsgebieten und investieren dafür viel Geld und Zeit – bereits, wenn ihre TFA-Gehalte noch weit von einem Schwellenwert entfernt sind. [6,26,27].

An wen richtet sich der neue Leitwert?

Kurz gesagt: Der neue LW_{TW} dient den überwachenden Gesundheitsbehörden als Grundlage für die Festlegung von Anforderungen an die Trinkwasserqualität für chemische Stoffe, für die die TrinkwV keinen Grenzwert vorsieht. Hingegen ist er kein Maßstab für die Bewertung der Einträge in Oberflächengewässer und das Grundwasser. Es ist wichtig, dass sich alle Land- und Gewässernutzer zu einem vorsorgeorientierten Umgang mit Chemikalien bekennen – mit dem Ziel, die Einträge von TFA so weit wie möglich zu minimieren. Vor diesem Hintergrund sollte grundsätzlich eine Unterschreitung von $10 \mu\text{g/L}$ angestrebt werden, was dem niedrigsten der geltenden Höchstwerte entspricht. Dies erfordert bereits Maßnahmen, wenn Konzentrationen weit unterhalb dieser Schwelle gemessen werden.

Gesundheitsämter

Der neue LW_{TW} von $60 \mu\text{g/L}$ entspricht einer wissenschaftlich abgeleiteten, lebenslang tolerierbaren Konzentration, unter der den vorliegenden Daten zu Folge keine gesundheitsschädigenden Auswirkungen für den Menschen zu erwarten sind [2]. Somit richtet der Wert sich zuallererst an Behörden, die die Qualität des Trinkwassers aus gesundheitlicher Sicht überprüfen. Hierbei sind vor allem jene Gesundheitsbehörden angesprochen, die bereits im Vollzug über relativ hohe TFA-Konzentrationen im Trinkwasser zu entscheiden haben und vor der schwierigen Frage stehen, ob sie in die Abgabe des belasteten Trinkwassers eingreifen sollen. In dieser Hinsicht ist der LW_{TW} ebenfalls relevant für Wasserversorger, die die Anforderungen an die Trinkwasserqualität erfüllen müssen. Doch entbindet dieser Wert nicht von weiteren trinkwasserhygienischen Erwägungen (siehe oben).

Wasserversorger, Gewässernutzer, Gewässerschützer

Für Akteure des Gewässerschutzes sowie des präventiven Schutzes von Trinkwasserressourcen ist der LW_{TW} keine rechtsverbindliche Vorgabe. Für sie gelten primär die Grundsätze des Minimierungsgebots und der nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung, die bereits bei wesentlich geringeren gemessenen Konzentrationen ansetzen. Denn diese Vorgaben beziehen sich auf künftige Einträge, die so gering wie möglich gehalten werden sollen.

Diese Zielsetzung richtet sich an alle, deren Aktivitäten von der Gewässerqualität abhängen oder den Gewässerschutz beeinflussen. Im engeren Sinne des Trinkwasserbereichs sind dies Wasserversorger, die Gewässer zur Trinkwassergewinnung heranziehen, sowie Einleiter, insbesondere aus Industrie und Landwirtschaft. Im weiteren Sinne einer nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung betrifft dies Länderbehörden, Kommunen und Unternehmen, die Gewässer nutzen, bewirtschaften und schützen.

Die Minimierung von TFA-Einträgen erfordert ein kooperatives und koordiniertes Vorgehen aller Akteure sowie die gemeinsame Definition des „Möglichen“. Dazu bedarf es einer Analyse und Bewertung des Gesamtsystems mit seinem lokalen Wasserhaushalt, den Akteuren und deren

Bedarfen. Hervorheben möchten wir an dieser Stelle positive Beispiele von engagierten Behörden, Verbänden, Landwirten und Unternehmen, die etwa in lokalen Kooperationen an einem nachhaltigen Gewässerschutz arbeiten und sich des Themas TFA bereits angenommen haben (siehe u.a. [6,26,27]).

Fazit

Um den verschiedenen Zielen und Anforderungen an die Wasserqualität und den Gewässerschutz gerecht zu werden, ist eine Unterschreitung von 10 µg/L in Oberflächengewässern und dem Grundwasser anzustreben. Um dies zu realisieren, müssen bereits bei Funden unterhalb dieser Schwelle Maßnahmen ausgelöst werden.

Referenzen

- [1] UBA (2020): Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM). Fortschreibungsstand Mai 2020.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/liste_der_bewerteten_nrm_2020-05.pdf
- [2] UBA (2020): Ableitung eines gesundheitlichen Leitwerts für Trifluoressigsäure (TFA).
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/ableitung_eines_gesundheitlichen_leitwertes_fuer_trifluoressigsaeure_fuer_uba-homepage.pdf
- [3] UBA (2020): Gesundheitlicher Orientierungswert – GOW.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/toxikologie-des-trinkwassers/gesundheitlicher-orientierungswert-gow>
- [4] Scheurer M., Nödler K., Freeling F., Janda J., Happel O., Riegel M., Müller U., Storck F.R., Fleig M., Lange F.T., Brunsch A., Brauch H.J. (2017): Small, mobile, persistent: Trifluoroacetate in the water cycle - Overlooked sources, pathways and consequences for drinking water supply. *Water Research* 126, 460-471 (2017).
- [5] Scheurer M., Nödler K., Freeling F., Janda J., Happel O., Riegel M., Müller U., Storck F.R., Fleig M., Lange F.T., Brauch H.J. (2017): Klein, mobil, persistent - das Fallbeispiel TFA. TZW-Schriftenreihe Nr. 80: Entwicklungstrends für die Wasserversorgung, 65-80 (2017).
- [6] Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR) (2018): TFA-Studie. Quellen, Vorkommen und Bedeutung von TFA im Rheineinzugsgebiet.
- [7] UBA (2008): Empfehlung des Umweltbundesamtes „Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich „nicht relevanter“ Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser“ Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2008 · 51:797–801, DOI 10.1007/s00103-008-0589-3
- [8] ETOX-Datenbank des UBA: <https://webetox.uba.de/webETOX/public/basics/ziel.do?id=6325>
- [9] Guidance No 27 - Deriving Environmental Quality Standards (TDG EQS) [2018].
<https://circabc.europa.eu/ui/group/9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d/library/ba6810cd-e611-4f72-9902-f0d8867a2a6b/details>
- [10] SANCO/221/2000-rev. 10.25.2.2003: Guidance Document on the Assessment of the Relevance of Metabolites in Ground Water of Substances Regulated under Council Directive 91/414/EEC.
- [11] Michalski B., Stein B., Niemann L., Pfeil R., Fiecher R. (2004): Beurteilung der Relevanz von Metaboliten im Grundwasser im Rahmen des nationalen Zulassungsverfahrens für Pflanzenschutzmittel. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 56(3), 53-59 (2004).
- [12] Streloke M., Erdtmann-Vourliotis M., Nolting H.G., Dieter H., Klein A.W., Pfeil R., Stein B. (2007): Bewertung von Grund- und Trinkwassermetaboliten von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in verschiedenen regulatorischen Verfahren. *J. Verbr. Lebensm.* 2, 379-382 (2007).
- [13] BVL (o.J.): Fundaufklärung bei Grenz- und Leitwertüberschreitungen von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen bzw. deren relevanter und nicht relevanter Metaboliten im Grundwasser. www.bvl.bund.de/fundaufklaerung
- [14] BVL (o.J.): Anwendungsbeschränkungen für bestimmte Pflanzenschutzmittel zum Schutz von Grundwasservorkommen, die zur Trinkwassergewinnung herangezogen werden. www.bvl.bund.de/ng301
- [15] BMEL (2013): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Startseite/NAP_2013-2_002_.pdf
- [16] Draft Renewal Assessment Report Flufenacet, Volume 3, Annex B.8 (AS) Fate and Behaviour in the Environment (Stand 2018) (zu recherchieren unter: <http://www.efsa.europa.eu/en/consultations/consultationsclosed>)
- [17] Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz und DVGW Technologiezentrum Wasser (2019): Untersuchungen zum „Vorkommen und Bildungspotential von Trifluoracetat (TFA) in niedersächsischen Oberflächengewässern. Landesweiter Überblick und Identifikation von Belastungsschwerpunkten. <https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/141156>
- [18] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2018): ECHO-Stoffbericht Trifluoracetat (TFA). https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/analytik/pdf/ECHO_Trifluoracetat.pdf
- [19] Daten aus in 2019 beantragten Fundaufklärungsverfahren zu TFA (nicht veröffentlicht)
- [20] Solomon K.R., Velders G.J.M., Wilson S.R., Madronich S., Longstreth J., Aucamp P.J., Bornman J.F. (2016): Sources, fates, toxicity, and risks of trifluoroacetic acid and its salts: Relevance to substances regulated under the Montreal and Kyoto Protocols. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 2016, 19, 289.
- [21] BVL (2019): Absatzzahlen von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in Deutschland, 2008-2018

[22] Technology and Economic Assessment Panel (2018): Assessment Report. Nairobi: Technology and Economic Assessment Panel, United Nations Environment Programme (UNEP). <https://ozone.unep.org/science/assessment/teap> http://conf.montreal-protocol.org/meeting/oewg/oewg-41/presession/Background-Documents/TEAP_2018_Assessment_Report.pdf

[23] Cousins I.T., Ng C.A., Wang Z., Scheringer M. (2019): Why is high persistence alone a major cause of concern? *Envir. Sci.: Processes Impacts*, 2019, 21, 781-792.

[24] Ökotest (2012): 102 Stille Mineralwässer im Test. https://www.oekotest.de/essen-trinken/102-Stille-Mineralwaesser-im-Test_98720_1.html?artnr=98002&bernr=04

[25] Stuttgarter Zeitung (2013): Ungeliebte Rückstände im Trinkwasser. <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.kreis-ludwigsburg-ungeliebte-rueckstaende-im-trinkwasser.74921712-4287-49ec-8efd-2fd4952ce939.html>

[26] Kooperation Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre. Ein Bericht über die Ergebnisse der Beratung 2018. Landwirtschaftskammer NRW.

[27] Ries J. und Morlock M. (2017): Grund- und Trinkwasserbelastungen durch Trifluoracetat im Großraum Mannheim/Heidelberg. In: Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) (2017), 49. Bericht