

Abschlussbericht zum Landesmonitoring zur Bestimmung von Chrom(VI) im Trinkwasser in Sachsen-Anhalt

René Schnorr, Heike Rautenberg und Uta Rädcl



SACHSEN-ANHALT

**Landesamt für
Verbraucherschutz**

Landesamt für Verbraucherschutz Sachsen-Anhalt
www.verbraucherschutz.sachsen-anhalt.de

Fachbereich 2 Hygiene
Dezernat 22 Umwelt- und Wasserhygiene

Hausanschrift: Große Steinernetischstr. 4, D-39104 Magdeburg
Postanschrift: Postfach 1748, D-39007 Magdeburg
Telefon: +49 (0)391 2564-0
Fax: +49 (0)391 2564-192
E-Mail: lav-fb2@sachsen-anhalt.de

Magdeburg, April 2017

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Die Informationen, die in diesem Bericht vorgestellt werden, stellen den Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dar.

Dieser Text steht der Allgemeinheit zur Verfügung. Eine Verwertung in Publikationen, die über übliche Zitate hinausgeht, bedarf der ausdrücklichen Genehmigung der Verfasser.

Inhalt

1. Ziel des Landesmonitorings.....	4
2. Vorkommen, Eigenschaften und Bedeutung von Chrom	4
3. Chrom(VI) in der Umwelt.....	5
4. Nationale und internationale gesetzliche Regelungen	7
5. Analytik von Chrom(VI).....	7
6. Ergebnisse der Untersuchungen in Sachsen-Anhalt.....	8
7. Zusammenfassung.....	11
8. Quellenverzeichnis und Anmerkungen	12

1. Ziel des Landesmonitorings

1998 hat die US-amerikanische Umweltschutzbehörde (*Environmental Protection Agency*, EPA) eine erste toxikologische Bewertung von Chrom(VI) veröffentlicht.¹ 2010 veröffentlichte die EPA den Entwurf einer Neubewertung (*External Review draft*) kanzerogener und nicht kanzerogener Effekte, die mit dem oralen Expositionsweg von Chrom(VI) assoziiert sind (*oral toxicity values*).² Auf Grundlage dieser Veröffentlichungen werden die Chrom(VI)-Konzentrationen in Trinkwasser heute wesentlich kritischer bewertet: Chrom(VI) gilt als mutagen und kanzerogen, so dass auch Chrom(VI), das über den Trinkwasserpfad aufgenommen wird, ebenfalls als kanzerogen eingeschätzt wird. Auf Grundlage eines vom Umweltbundesamt (UBA) beauftragten Sondergutachtens zur potentiellen Schädlichkeit von Chrom im Trinkwasser empfiehlt das UBA einen (statistisch) berechneten Zielwert von 0,3 µg/L für Chrom(VI) in Trinkwasser.³

Das Landesamt für Verbraucherschutz (LAV) hat Ende 2014 ein Monitoringprogramm erarbeitet, um die Chrom(VI)-Gehalte im Trinkwasser landesweit zu erfassen. Ziel dieses Mess- und Überwachungsprogramms war die Ermittlung der Chrom(VI)-Konzentrationen im Trinkwasser der öffentlichen Trinkwasserversorgung und die Abschätzung einer Gesundheitsgefährdung für die Bevölkerung in Sachsen-Anhalt. Die Datenerhebung sollte umfassend und repräsentativ sein, so dass die gesamte öffentliche Trinkwasserversorgung des Landes erfasst werden kann und ein vollständiges Lagebild entsteht.

2. Vorkommen, Eigenschaften und Bedeutung von Chrom

Chrom (Elementsymbol: Cr) ist ein ubiquitäres Element (0,019 % natürliche Häufigkeit, häufiger als Kalium oder Kupfer). Der Name des Elements leitet sich vom lateinischen *chroma* (die Farbe) ab. Chrom und Chrom-Verbindungen finden vielseitig Anwendung, z.B. in Legierungen, bei der Veredlung (Verchromung), der Passivierung, der Katalyse, der Ledergerbung oder auch als Farbstoff (Chromoxidgrün oder Chromgelb). Im Rotbleierz (PbCrO_4) wurde das Chrom im 18. Jahrhundert entdeckt. Gediegen kommt Chrom nur sehr selten vor, zur Gewinnung im Tagebau dient einzig Chromit (Chromeisenstein, FeCr_2O_4).

Als erstes Element der 6. Nebengruppe des Periodensystems der Elemente kann es in seinen Verbindungen in den Oxidationsstufen +1 bis +6 auftreten. Reines Chrom ist infolge von Passivierung chemisch inert und besitzt einen starken metallischen Glanz (Verchromung). Die Verbindungen der Oxidationsstufen +1, +4 und +5 sind in wässrigen Lösungen unbeständig. Chrom(II)-Salze sind in wässriger Lösung starke Reduktionsmittel und gehen rasch in Chrom(III) über. Die beständigen Chrom(III)-Salze bilden in wässriger Lösung stabi-

le Aquakomplexe. Die Oxidationsstufe +6 liegt in den gelben Chromaten (CrO_4^{2-}) und den orangen Dichromaten ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) vor (Oxoanionen). Die Oxidation von Chrom(III) zu Chrom(VI) gelingt besonders leicht in alkalischer Lösung.

In wässrigen Lösungen liegt Chrom typischerweise in seiner dreiwertigen oder seiner sechswertigen Form vor. Beide Oxidationsstufen sind hinreichend stabil, um sie quantitativ analytisch nachweisen zu können.

In seiner elementaren Form hat Chrom keine physiologische Bedeutung im menschlichen Körper. Chrom(III) gilt als essentielles Spurenelement, das dem Körper regelmäßig mit der Nahrung zugeführt werden muss. Der Mensch enthält etwa 5 bis 20 mg Chrom.⁴ Es ist in der Leber, der Milz sowie im Knochen-, Fett- und Muskelgewebe vorhanden.⁵ Komplex gebundenes Chrom(III) ist ein Bestandteil des Glukose-, Lipid- und Proteinstoffwechsels. Die angemessene tägliche Chromaufnahme sollte für einen Erwachsenen zwischen 50 und 200 $\mu\text{g}/\text{Tag}$ liegen.⁶ In Lebensmitteln finden sich die höchsten Chrom-Gehalte in Fleisch, Fisch, Fetten und Ölen sowie in Brot, Nüssen und Zerealien.⁷

Chrom(VI) gilt als physiologisch uninteressant, aber toxikologisch bedeutungsvoll. Es wird vom UBA als kanzerogen und mutagen eingeschätzt. Chrom(VI)-Verbindungen sind krebserzeugend bei Mensch und Tier. Grund für die im Vergleich zu Chrom(III) wesentlich höhere Toxizität ist die unterschiedliche Bioverfügbarkeit: Chrom(VI) (als CrO_4^{2-} oder $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) kann über den Anionentransport der Zellen aufgenommen werden, das Chrom(III)-Kation (Cr^{3+}) dagegen nicht.⁷

3. Chrom(VI) in der Umwelt

Zum einen kommt Chrom(VI) natürlich in der Umwelt vor. Es entsteht vor allem durch geologische Erosion von Chrom-Lagerstätten. Zum anderen kann es auch in industriellen Prozessen hergestellt werden.

Chrom(VI)-oxid wird hauptsächlich in der Galvanik zum Verchromen benötigt. Es eignet sich auch als Bleich- oder Holzschutzmittel und als Oxidationsmittel bei der Herstellung organischer Stoffe. Auch Ammoniumdichromat oder Kaliumdichromat, welche vor allem bei der Ledergerbung eingesetzt werden, können aus Chrom(VI)-oxid hergestellt werden. Es gibt Fälle in den USA, in denen Chrom(VI) in der Umwelt durch Leckagen, schlechte Lagerung oder unzureichende industrielle Abfallbeseitigungsverfahren freigesetzt wurde (z.B. *Hinkley groundwater contamination*).⁸ In Europa ist mit Inkrafttreten der RoHS-Richtlinie 2011 die Verwendung von Chrom(VI)-Verbindungen stark eingeschränkt.⁹

Das natürliche Auftreten von Chrom(VI)-Verbindungen in Grund- und Oberflächenwässern einer Region ist maßgeblich durch die (hydro-) geologische Beschaffenheit dieser Region bestimmt. Aus der geologischen Beschaffenheit lassen sich Rückschlüsse auf die

Chrom(VI)-Gehalte der Grund- und Oberflächenwässer ziehen. Deutschland wird in 10 hydrogeologische Großräume unterteilt.¹⁰

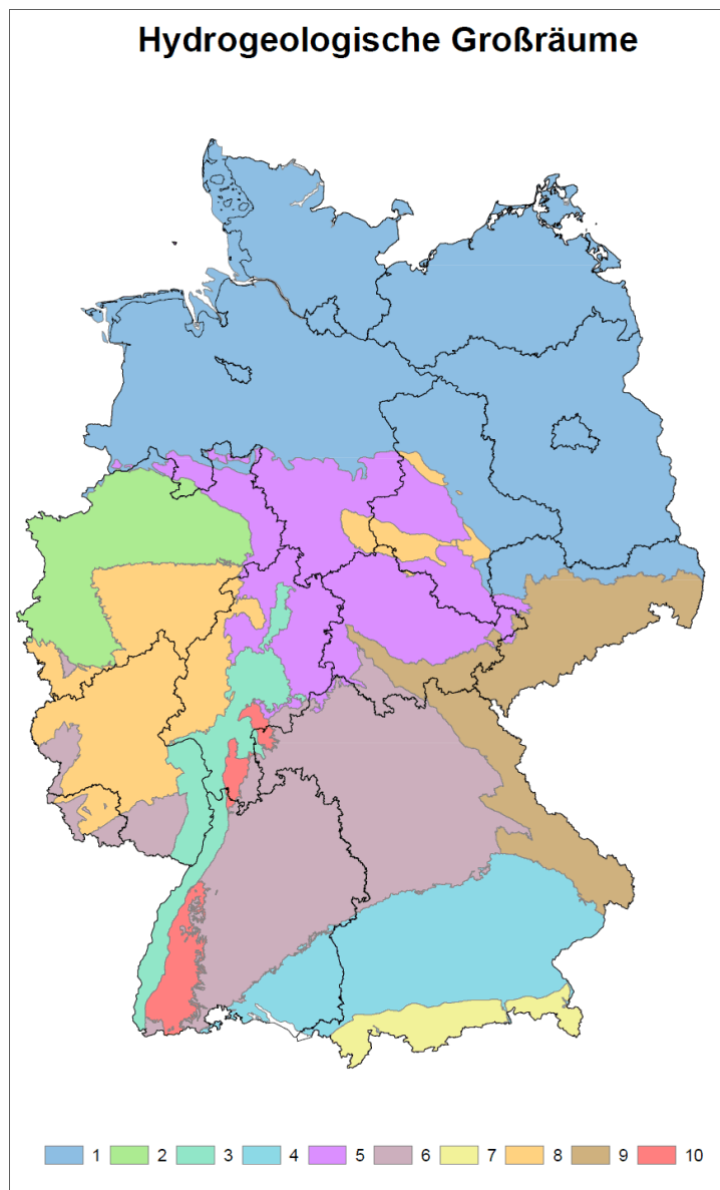


Abbildung 1: Hydrogeologische Großräume in Deutschland: 1 Nord- und mitteldeutsches Lockergesteinsgebiet; 2 Rheinisch-Westfälisches Tiefland; 3 Oberrheingraben mit Mainzer Becken und nordhessischem Tertiär; 4 Alpenvorland; 5 Mitteldeutsches Bruchschollenland; 6 West- und süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland; 7 Alpen; 8 West- und mitteldeutsches Grundgebirge; 9 Südostdeutsches Grundgebirge; 10 Südwestdeutsches Grundgebirge.

Sachsen-Anhalt gehört regionalgeologisch weitgehend dem nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsgebiet (1) im Nordosten und dem mitteldeutschen Bruchschollenland (5) im Südwesten an. In den dort auffindbaren Sedimentgesteinen (überwiegend Buntsandsteine) findet man vergleichsweise wenig Chrom. Teile des Harzes und die Region um Wittenberg gehören dem west- und mitteldeutschen Grundgebirge (8) an.¹¹

4. Nationale und internationale gesetzliche Regelungen

Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat für Gesamt-Chrom in Trinkwasser einen vorläufigen Richtwert (*provisional guideline value*) in Höhe von 50 µg/L festgelegt.¹²

In den USA gilt derzeit bundesweit ein Grenzwert (*current federal drinking water standard*) von 100 µg/L.¹³ Im Bundesstaat Kalifornien gilt seit 2014 ein Grenzwert für Chrom(VI) von 10 µg/L (*drinking water maximum contaminant level*).¹⁴

Die EU-Trinkwasserrichtlinie von 1998 hat einen Grenzwert für Gesamt-Chrom von 50 µg/L festgelegt, dieser wurde in Deutschland (und der Schweiz) übernommen.¹⁵ In der Schweiz gibt es einen Grenzwert für Chrom(VI) von 20 µg/L (0,020 mg/kg).¹⁶

Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) weist für eine Reihe von Stoffen im Trinkwasser Grenzwerte aus. Sie kennzeichnen im Falle eines lebenslangen Konsums von zwei Litern pro Tag eine Schwelle zur gesundheitlichen Besorgnis, also ein Niveau noch deutlich unterhalb einer Gefahr für die menschliche Gesundheit. Konzentrationen unterhalb der Schwelle des toxikologisch begründeten Besorgnisniveaus werden als gesundheitlich sicher angesehen, dennoch gilt nach § 6 Absatz 3 TrinkwV 2001 ein allgemeines Minimierungsgebot für alle chemischen Stoffe.

In der derzeit gültigen Fassung der Trinkwasserverordnung wird nicht zwischen Chrom(III) und Chrom(VI) unterschieden. Im Rahmen der Trinkwasserüberwachung wird der Gesamt-Chrom-Gehalt bestimmt, der Grenzwert beträgt 50 µg/L.¹⁷ Aufgrund der toxikologischen Neubewertung von Chrom(VI) hat das UBA einen Zielwert von 0,3 µg/L (Chrom(VI)) abgeleitet, was einem statistisch berechneten Krebsrisiko von einem Fall pro eine Million lebenslang Exponierter entspricht (1:10⁶). Derzeit wird die gesetzliche Regelung für Chrom(VI) diskutiert.

5. Analytik von Chrom(VI)

Es gibt verschiedene analytische Methoden, mit denen der Gehalt an Chrom(VI) in Trinkwasser bestimmt werden kann. Die Bestimmungsgrenzen (BG) liegen bei etwa 0,05 bis 0,02 µg/L.¹⁸ Im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens W 2/02/11 wurden ein Analyseverfahren zur Messung von sechswertigem Chrom entwickelt (IC-ICP-MS) und zudem umfangreiche Studien zur Stabilität von Chromspezies bei veränderten pH-Werten, Lagerbedingungen, Ozoneinfluss, Matrix und Art der Probengefäße durchgeführt.¹⁹

Die EPA-Methode 218.7 (IC-PCR-Methode) beschreibt die Bestimmung von sechswertigem Chrom durch Ionenchromatographie mit Nachsäulenderivatisierung und anschließender UV/Vis-spektroskopischer Detektion ($\lambda = 530 \text{ nm}$).²⁰

Das LAV hat sich aufgrund der bereits vorhandenen technischen Ausstattung für die IC-ICP-MS-Methode entschieden. Da Chrom(VI) in neutraler wässriger Lösung als Chromat-

Anion vorliegt (CrO_4^{2-}), findet zunächst eine chromatographische Trennung (IC) an einer Anionenaustauschsäule statt. Anschließend wird der Analyt mittels induktiv-gekoppelten Plasma (ICP) ionisiert und schließlich massenspektrometrisch (MS) detektiert. Um den Zielwert von $0,3 \mu\text{g/L}$ analytisch sicher erfassen zu können, wurde der kalibrierte Arbeitsbereich zu kleineren Konzentrationen ($0,02 - 1,0 \mu\text{g/L}$) verschoben, die BG liegt bei $0,02 \mu\text{g/L}$.²¹ Das Verfahren wurde 2016 durch die DAkkS begutachtet und ist Bestandteil der in der DAkkS-Urkunde des LAV gelisteten Untersuchungsmethoden.

6. Ergebnisse der Untersuchungen in Sachsen-Anhalt

Der Trinkwassergrenzwert für Gesamt-Chrom ($50 \mu\text{g/L}$) wurde deutlich unterschritten: Im Rahmen des Monitorings wurden Konzentrationen von maximal $1,1 \mu\text{g/L}$ Gesamt-Chrom beobachtet.

Die öffentliche Trinkwasserversorgung in Sachsen-Anhalt war zum Zeitpunkt des Monitorings in 114 Wasserversorgungsgebiete unterteilt. Im Rahmen des Monitorings wurden alle Wasserversorgungsgebiete betrachtet und insgesamt 124 Trinkwasserproben untersucht. Die Probennahmen erfolgten durch die zuständigen Gesundheitsämter der Landkreise und kreisfreien Städte. Die Proben wurden am Wasserwerksausgang oder im Trinkwassernetz entnommen. Ergänzend hierzu wurden sechs Rohwasserproben untersucht. Darüber hinaus erfolgt eine Einspeisung von Trinkwasser in das Trinkwassernetz Sachsen-Anhalts aus zwei Wasserversorgungsanlagen in Sachsen. Die Untersuchungsergebnisse dieser Anlagen wurden von der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH zur Verfügung gestellt. Damit liegen für alle Wasserversorgungsgebiete in Sachsen-Anhalt Ergebnisse zur Untersuchung auf Chrom(VI) im Trinkwasser vor, so dass ein repräsentativer Überblick über die Gesamtsituation der öffentlichen Trinkwasserversorgung gegeben ist.

Neben den Untersuchungen auf Chrom(VI) und Gesamt-Chrom wurden weitere Parameter zur Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit mit Bezug auf geogen bedingte Einflussfaktoren und ergänzende Informationen zum Einzugsgebiet erfasst:

- (a) Herkunft des Rohwassers, Topographie und Geologie des Einzugsgebiets
- (b) Anzahl und Tiefe der Förderbrunnen und Fördermenge der Wasserversorgungsanlage
- (c) Zahl der versorgten Einwohner im Versorgungsgebiet
- (d) Informationen zur Wasseraufbereitung (ggf. eingesetzte Chemikalien, Desinfektionsverfahren)
- (e) ergänzende chemische Parameter (Bor, Nitrat, Ammonium, Sulfat, Chlorid, Eisen, Mangan, Säurekapazität, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit)

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (a) Aufgrund der hydrogeologischen Beschaffenheit wurden erwartungsgemäß nur geringe Chrom(VI)-Konzentrationen beobachtet. Das Auftreten von Chrom(VI) im Trinkwasser ist geogen bedingt und somit regional geprägt.
- (b) In 111 Wasserversorgungsgebieten liegen die Chrom(VI)-Konzentrationen unter dem vom UBA (statistisch) berechneten Zielwert von 0,30 µg/L, in den meisten Fällen unter der Bestimmungsgrenze von 0,02 µg/L.
- (c) Für eine Wasserversorgungsanlage wurde eine Chrom(VI)-Konzentration zwischen 0,30 und 0,40 µg/L gemessen. Dieses Wasser wird mit einem Wasser aus einer anderen Wasserversorgungsanlage gemischt und erst dann an die Verbraucher abgegeben, so dass die Chrom(VI)-Konzentration in diesem Wasserversorgungsgebiet ebenfalls unter 0,30 µg/L liegt.
- (d) In zwei Wasserversorgungsgebieten werden Trinkwässer eingespeist, deren Chrom(VI)-Konzentrationen geringfügig über dem Zielwert, aber unter einer Konzentration von 0,50 µg/L liegen.

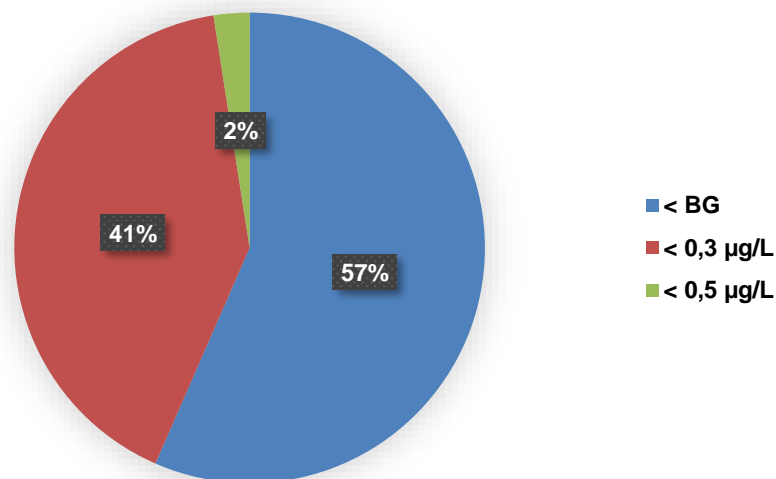


Abbildung 2: Statistische Verteilung der Messergebnisse der untersuchten Proben. BG = Bestimmungsgrenze (0,02 µg/L). In 57 % der Proben (blau) ist der Chrom(VI)-Gehalt kleiner als die analytische Bestimmungsgrenze. In 41 % der Proben (rot) konnten Chrom(VI)-Konzentrationen größer der Bestimmungsgrenze jedoch kleiner 0,3 µg/L beobachtet werden. Damit liegen in 98 % aller Proben die Chrom(VI)-Konzentrationen unter dem vom Zielwert von 0,3 µg/L. Insgesamt weisen nur drei Proben (2 %, grün) Konzentrationswerte größer 0,3 µg/L auf.

Berücksichtigt man die Messwerte kleiner der Bestimmungsgrenze mit der Hälfte des Wertes der Bestimmungsgrenze (= 0,01 µg/L), so ergeben sich folgende statistische Kennzahlen:

Tabelle 1: Statistische Kennzahlen der Messergebnisse der untersuchten Proben.

Statistische Kennzahl	µg/L
Höchste Konzentration	0,48
Arithmetisches Mittel	0,04
Geringste Konzentration	0,01
95. Perzentil	0,45
75. Perzentil	0,05
50. Perzentil	0,01

Eine erste Einordnung dieser Messwerte ermöglicht der Vergleich mit den unter Abschnitt 4 (Nationale und internationale gesetzliche Regelungen) genannten Werten:

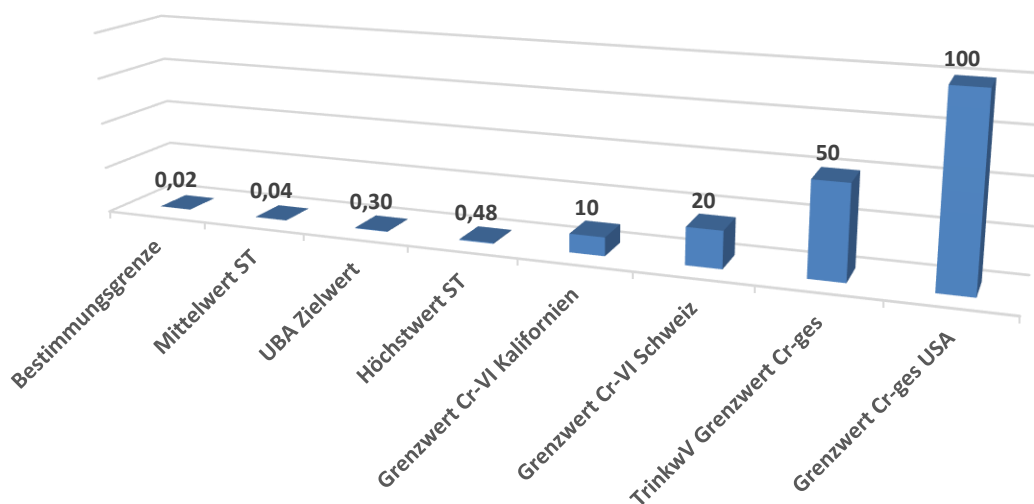


Abbildung 3: Statistische Kennzahlen der Messergebnisse der untersuchten Proben im Vergleich zu den bestehenden nationalen und internationalen gesetzlichen Regelungen für Chrom(VI) und Gesamt-Chrom im Trinkwasser. Zahlenwerte in µg/L. ST = Sachsen-Anhalt. Cr-VI = Chrom(VI). Cr-ges = Gesamt-Chrom.

Die erwartungsgemäß sehr geringen Chrom(VI)-Konzentrationen sind geogen bedingt. Die in den Wassereinzugsgebieten auffindbaren Sedimentgesteine sind arm an Chrom. Die ermittelten Chrom(VI)-Gehalte werden nach heutigem Stand der Erkenntnisse und unter Heranziehung des Zielwertes von 0,30 µg/L wie folgt bewertet:

- (a) Das zusätzliche Krebsrisiko durch Chrom(VI) im Trinkwasser in Sachsen-Anhalt liegt bei Berücksichtigung des Mittelwertes von 0,04 µg/L weit unter dem berechneten Risikoniveau von $1 \cdot 10^{-6}$.²²
- (b) Der beobachtete Höchstwert von 0,48 µg/L entspräche einem Risikoniveau von $1,6 \cdot 10^{-6}$.
- (c) Wird der vom UBA (statistisch) berechnete Zielwert unterschritten, besteht kein weiterer Handlungsbedarf.
- (d) Wird der vom UBA (statistisch) berechnete Zielwert leicht überschritten, besteht nach heutigen Erkenntnissen keine Gefährdung. Statistisch betrachtet würde sich das zusätzliche Gesundheitsrisiko nur sehr gering erhöhen und wäre vernachlässigbar.

7. Zusammenfassung

Durch den Fortschritt in Wissenschaft und Technik erlauben es moderne Analyseverfahren heute, zuverlässig zwischen Chrom(III) und Chrom(VI) zu unterscheiden und selbst geringste Konzentrationen solcher Spurenstoffe nachzuweisen. Dies ist insbesondere wichtig, da neue wissenschaftliche Erkenntnisse auf eine kanzerogene und mutagene Wirkung von Chrom(VI) hinweisen.

Das LAV hat im Auftrag des Ministeriums für Arbeit, Soziales und Integration im Jahr 2014 damit begonnen, ein Landesmonitoringprogramm zur Bestimmung von Chrom(VI) im Trinkwasser durchzuführen. Die Chrom(VI)-Gehalte wurden flächendeckend für die Anlagen der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Sachsen-Anhalt ermittelt.

Insgesamt wurden im LAV 124 Trinkwasserproben aus 114 Wasserversorgungsgebieten untersucht. Diese Untersuchungen wurden ergänzt durch Daten der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH. Es liegen für alle Wasserversorgungsgebiete in Sachsen-Anhalt Ergebnisse vor, so dass ein repräsentativer Überblick über die Gesamtsituation im Trinkwassernetz der öffentlichen Trinkwasserversorgung gegeben ist.

Das Auftreten von Chrom(VI) im Trinkwasser ist geogen bedingt und somit regional geprägt. Aufgrund der hydrogeologischen Beschaffenheit wurden erwartungsgemäß nur sehr geringe Chrom(VI)-Konzentrationen beobachtet.

Vor dem heutigen Kenntnisstand stellen die ermittelten Chrom(VI)-Konzentrationen im Trinkwasser in Sachsen-Anhalt kein Gesundheitsrisiko dar.

Diese Untersuchungen dienen (zusammen mit Daten aus anderen Bundesländern) der Klärung offener Fragen zur Belastung des Trinkwassers und um weitere Maßnahmen harmonisiert auf Bundesebene gemeinsam mit dem Bundesministerium für Gesundheit (BMG) und dem UBA abzustimmen. Dieser Prozess ist auch unter Würdigung neuester toxikologischer Erkenntnisse noch nicht abgeschlossen. Sobald neue Erkenntnisse vorliegen,

sind die ermittelten Konzentrationen erneut einzuordnen und ggf. weitere Maßnahmen abzuleiten.

8. Quellenverzeichnis und Anmerkungen

¹ U.S. EPA (1998): TOXICOLOGICAL REVIEW OF HEXAVALENT CHROMIUM, https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0144tr.pdf (abgerufen am 10.04.2017).

² U.S. EPA (2010): TOXICOLOGICAL REVIEW OF HEXAVALENT CHROMIUM, https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=221433 (abgerufen am 10.04.2017), http://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=498828 (abgerufen am 10.04.2017).

³ M. Roller (2012): Potentielle Schädlichkeit von Chrom im Trinkwasser. Einordnung der epidemiologischen Befunde zum Krebsrisiko nach Exposition von Populationen gegenüber Chrom(VI) im Trinkwasser und Vorschlag zur Ableitung einer Expositions-Risikobeziehung, 2012, Bericht zum Sondervorhaben des Umweltbundesamtes FKZ 363 01 399. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/gutachten-zur-potentielle-schaedlichkeit-von-chrom> (abgerufen am 10.04.2017).

⁴ E. Merian (Hrsg.) (1984): Metalle in der Umwelt: Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. Weinheim: Verlag Chemie.

⁵ K. Widhalm (Hrsg.) (2009): Ernährungsmedizin. Wien: Verlagshaus der Ärzte.

⁶ R. A. Anderson (1989): Essentiality of chromium in humans. *Science of The Total Environment*, 1989 (86), 75-81.

⁷ H.-W. Vohr (Hrsg.) (2010): Toxikologie. Band 2: Toxikologie der Stoffe. Weinheim: WILEY-VCH.

⁸ CalEPA (2016): PG&E Hinkley Chromium Cleanup Project, http://www.swrcb.ca.gov/lahontan/water_issues/projects/pge/ (abgerufen am 10.04.2017).

⁹ EU (2011): RICHTLINIE 2011/65/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, vom 8. Juni 2011, zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:DE:PDF> (abgerufen am 10.04.2017).

¹⁰ Das Erreichen eines guten qualitativen Zustands des Grundwassers als eines der Hauptziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) setzt die Kenntnis der hydrogeochemischen Hintergrundwerte im Grundwasser voraus. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) stellt umfangreiches Informationsmaterial zur Hydrogeologie zur Verfügung.

- ¹¹ BGR (2017): Hydrogeologische Großräume in Deutschland, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hyraum/hyraum_gro%C3%9Fraeume.html (abgerufen am 10.04.2017).
- ¹² WHO (2008): Guidelines for Drinking-water Quality: THIRD EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA. Volume 1: Recommendations, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/fulltext.pdf (abgerufen am 10.04.2017).
- ¹³ U.S. EPA (2017): Drinking Water Contaminants – Standards and Regulations, <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/chromium-drinking-water> (abgerufen am 10.04.2017).
- ¹⁴ CalEPA (2017): Chromium-6 Drinking Water MCL, http://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/Chromium6.shtml (abgerufen am 10.04.2017).
- ¹⁵ EU (1998): RICHTLINIE 98/83/EG DES RATES, vom 3. November 1998, über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:330:0032:0054:DE:PDF> (abgerufen am 10.04.2017).
- ¹⁶ 817.021.23, Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV) vom 26. Juni 1995 (Stand am 1. Oktober 2015).
- ¹⁷ Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die durch Artikel 4 Absatz 21 des Gesetzes vom 18. Juli 2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist.
- ¹⁸ BG = die kleinste Konzentration eines Analyten, die quantitativ mit einer festgelegten Präzision und hoher Genauigkeit bestimmt werden kann.
- ¹⁹ F. Sacher und A. Thoma (2013): Vorkommen von Chromat in Roh- und Trinkwässern in Deutschland. *energie wasser-praxis*, 2013 (64), 52-56.
- ²⁰ U.S. EPA (2011): Method 218.7: Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water by Ion Chromatography with Post-Column Derivatization and UV-Visible Spectroscopic Detection.
- ²¹ LAV LSA (2015): Jahresrückblick des Landesamtes für Verbraucherschutz 2014, <http://www.verbraucherschutz.sachsen-anhalt.de/wir-ueber-uns-service/publikationen/jahresberichte/> (abgerufen am 10.04.2017).
- ²² Nach dem vom UBA in Auftrag gegebenen Gutachten entspräche eine Konzentration von 0,3 µg/L Chrom(VI) einem zusätzlichen Krebsfall auf 1 Millionen Einwohner, also einem Risiko von $1 \cdot 10^{-6}$ bei einem Konsum von 2 Liter Wasser über einen Zeitraum von 70 Jahren.