

Kurzdossier Spurenstoffe

Stoffname: Quartäre Ammoniumverbindungen (QAV)

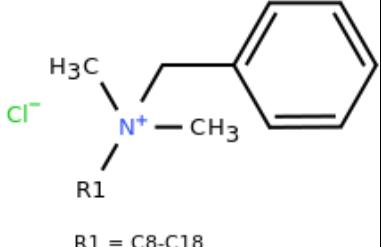
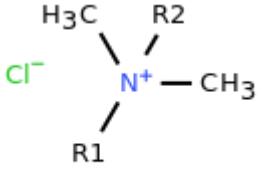
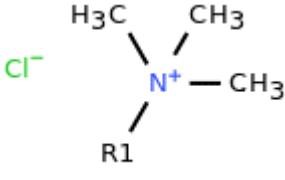
**Folgende Verbindungen umfasst das Kurzdossier: BAC/ ADBAC, DDAC,
ATMAC/ TMAC**

Der Fokus der vorliegenden Relevanzbewertung liegt auf Deutschland. Sie gründet auf Umweltbeobachtungsdaten aus der Bundesrepublik Deutschland. Daten aus anderen Ländern können als zusätzliche Interpretationshilfe herangezogen werden.

Dieses Kurzdossier umfasst ausschließlich die für die Bewertung der Relevanz erforderlichen Informationen. Die Bewertung erfolgt auf dem aktuellen Stand des Wissens.

Quartäre Ammoniumverbindungen (QAV) umfassen eine Vielzahl von Chemikalien. QAV haben durch die permanent positive Ladung des quartären Stickstoffs und mindestens einem hydrophoben Substituenten (Alkyl- oder Arylgruppe) einen amphiphilen Charakter. Das Kurzdossier umfasst die häufigsten Vertreter: Benzalkoniumchloride (BACs), Dialkyldimethylammoniumchloride (DDACs) und Alkyltrimethylammoniumchloride (ATMACs/ TMACs)¹. BAC ist ein Gemisch aus Alkylbenzyldimethylammoniumchloriden (ADBACs) mit verschiedenen Alkylkettenlängen. DDAC und ATMAC sind ebenfalls Gemische mit verschiedenen Alkylketten. Aufgrund ihrer Strukturähnlichkeit und der ähnlichen Anwendungsbereiche werden BACs, DDACs und ATMACs in diesem Kurzdossier zusammen betrachtet und bewertet.

Tabelle 1.0: Grundstruktur von QAV und Strukturformel, Summenformel und Wasserlöslichkeit von BAC/ ADBAC, DDAC und ATMAC/ TMAC

Grundstruktur von QAV		
$ \begin{array}{c} \text{R}_3 \quad \text{R}_1 \\ \backslash \quad / \\ \text{N}^+ - \text{R}_4 \\ \\ \text{R}_2 \end{array} $		
BAC/ ADBAC	DDAC	ATMAC/ TMAC
 $\text{R}_1 = \text{C}_8\text{-C}_{18}$	 $\text{R}_1 = \text{R}_2 = \text{C}_8\text{-C}_{18}$	 $\text{R} = \text{C}_8\text{-C}_{18}$ (even-numbered)
Summenformel		
Exemplarisch für BAC C12-C16 (CAS Nr. 68424-85-1): $\text{C}_{n+9}\text{H}_{2n+14}\text{N.Cl}$ ($n = 12, 14, 16$)	Exemplarisch für DDAC C10 (CAS Nr. 7173-51-5): $\text{C}_{22}\text{H}_{48}\text{N.Cl}$	Exemplarisch für ATMAC C8-C18 (CAS Nr. 61789-18-2): $\text{C}_{(n+3)}\text{H}_{(2n+10)}\text{N.Cl}$ $(n = 8, 10, 12, 14, 16, 18)$ und $\text{C}_{21}\text{H}_{44}\text{N.Cl}$ (ungesättigt C18)
Wasserlöslichkeit		
Exemplarisch für BAC C12-C16 (CAS Nr. 68424-85-1): pH 5,5: 409 g/l bei 20°C ² pH 6,5: 431 g/l bei 20°C ² pH 8,2: 379 g/l bei 20°C ²	Exemplarisch für DDAC C10 (CAS Nr. 7173-51-5): pH 2,2: 500 g/l bei 20°C ³ pH 9,2: 500 g/l bei 20°C ³	Exemplarisch für ATMAC C8-C18 (CAS Nr. 61789-18-2): pH 5: 300 g/l bei 20°C ⁴ pH 7: 346 g/l bei 20°C ⁴ pH 9: 373 g/l bei 20°C ⁴
Dissoziationskonstante(n):		
Nicht anwendbar, dissoziiert im Wasser vollständig ²⁻⁴		

Anwendung

Quartäre Ammoniumverbindungen (QAVs) sind kationische Verbindungen, die in einer Vielzahl von Produkten und Anwendungsgebieten zum Einsatz kommen. Einige der QAV werden in großen Mengen produziert („high production volume chemicals“)¹. Als kationische Tenside sind QAV typischerweise oberflächenaktiv und können antibakteriell, aber auch gegen Pilze, Hefen und Algen sowie in geringem Maße antiviral wirken. Auf Grund dieser Eigenschaften sind häufige Anwendungen als Biozide u.a. Desinfektions- oder Holzschutzmittel, Konservierungsstoffe oder Detergenzien. Während der SARS-CoV2 Pandemie kam es zu einem verstärkten Einsatz von QAV zur Hände- und Oberflächendesinfektion¹. Industrielle Anwendungen umfassen neben dem Einsatz in Biozidprodukten, wie z.B. Desinfektion in der Lebensmittelindustrie oder in Schwimmbädern, unter anderem Katalysatoren in der chemischen Synthese oder Antistatikmittel in der Textilindustrie⁵. Es gibt auch Anwendungen in Körperpflegeprodukten ohne Fokus auf Biozid-Wirkung⁶.

1 BAC/ ADBAC

Tabelle 1.1: Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Gewässern und Biota von ADBAC/BAC

Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [$\mu\text{g}/\text{L}$]
Oberflächengewässer (Rhein, Ruhr, Sieg, Lippe, Emscher, Wupper, Erft, Niers)	2014, BAC C12 ⁷ <ul style="list-style-type: none"> • < BG – 0,353 (Konzentrationsbereich über alle Messstellen) • BG = 0,010 Rhein (6 Messstationen) <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 – 0,020 Ruhr (2 Messstationen) <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 Sieg <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 Lippe <ul style="list-style-type: none"> • 0,353 Emscher <ul style="list-style-type: none"> • 0,061 Wupper <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 Erft <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 Niers <ul style="list-style-type: none"> • 0,010
Schwebstoffe, Deutschland (Saar, Rhein, Mulde)	2006 – 2021 ⁸ <p>Maximalwerte der jährlichen Sammelproben (MEC_{max}) [$\mu\text{g}/\text{g}$]</p> <p>Saar</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1,13 (BAC C12) • 0,73 (BAC C14) • 1,86 (Σ BAC C12-C14) • 0,26 (BAC C18) • 0,548 (Σ BAC C16-C18) • 2,41 (Σ BAC C9-C18) <p>Rhein</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,110 (BAC C12) • 0,093 (BAC C14) • 0,203 (Σ BAC C12-C14) • 0,04 (BAC C18) • 0,07 (Σ BAC C16-C18) • 0,247 (Σ BAC C9-C18) <p>Mulde</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,046 (BAC C12) • 0,036 (BAC C14) • 0,01 (BAC C18) • 0,031 (Σ BAC C16-C18) • 0,108 (Σ BAC C9-C18)

Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [$\mu\text{g}/\text{L}$]
Schwebstoffe, Deutschland (Saar, Rhein, Elbe, Donau, Mulde, Saale)	<p>2013 – 2019 ⁹</p> <p>Jährliche Sammelproben [$\mu\text{g}/\text{g Trockengewicht}$]</p> <p>BAC C12</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,039 (Minimalkonzentration) • 0,33 (Median) • 1,4 (Maximalkonzentration) <p>BAC C14</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,061 (Minimalkonzentration) • 0,3 (Median) • 1,4 (Maximalkonzentration)
Biomonitoring, Mensch	<p>Plasma, (n=43) ¹⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> • BAC C10 – C16, DDAC C10 • 80% Detektionshäufigkeit • 0,01 – 58,7 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Gesamtkonzentration) <p>Serum, (n=111) ¹¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • 14 QAVs: ATMACs C12–C18, BACs C8–C18, DDACs C8–C10 und C14–C18) • 97% Detektionshäufigkeit • 6,04 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) während COVID-19 Pandemie (2020) • 3,41 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) vor COVID-19 Pandemie (2019, signifikanter Unterschied zu während der Pandemie) • Anteil der BAC an der Summe QAV machte 48 und 34% der Gesamtkonzentration aus <p>Muttermilch, (n=48) ¹²</p> <p>Σ QAC</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,33 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Minimalkonzentration) • 1,5 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) • 7,4 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Maximalkonzentration) <p>Σ BAC</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,92 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) • Detektionshäufigkeit 71%

Tabelle 1.2: Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Kläranlagen von ADBAC/BAC

Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Kläranlagen	Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [$\mu\text{g}/\text{L}$]
Kläranlagenabflüsse	<p>2014, (n=13) ⁷</p> <p>BAC C12</p> <ul style="list-style-type: none"> • < BG – 0,067 • BG= 0,01 	

Tabelle 1.3: Stoffeigenschaften gemäß Relevanzkriterien von ADBAC/BAC

Bezugswert / Triggerwert	Daten für jeweiligen Stoff	Bewertung der Besorgnis (Besorgnis durch „+“ bzw. keine durch „-“ gekennzeichnet)
Persistenz/ biologische Abbaubarkeit Persistent, wenn „nicht leicht biologisch abbaubar“ / „nicht inhärent abbaubar“ oder gemäß Annex XIII der REACH-Verordnung ¹³ und zugehörigem Leitfaden ¹⁴	BAC C12-C16: readily biodegradable (angelehnt an OECD 301B, Modifikation nicht bekannt) ² hydrolytically stable during the 30-day hydrolysis study at pH 5, 7 or 9 at 25°C ²	-
Mobilität/ Adsorptionsfähigkeit Mobil (M): $\log K_{OC} < 3$ Sehr mobil (vM): $\log K_{OC} < 2$ ¹⁵	BAC C12-C16: $K_{OC} = 1640329 \text{ L/Kg}$ ² $\log K_{OC} = 6,2$	-
Humantoxizität (auf Basis von CLP) Humantoxisch, wenn die Kriterien zur Klassifizierung nach CLP-Verordnung Kategorie Kanzerogen (1A, 1B) oder Keimzellmutagen (1A, 1B) oder Reproduktionstoxisch (Kategorie 1A, 1B, 2) oder STOT RE (1, 2) erfüllt sind ¹⁶	Keine Einstufung	-
Ökotoxizität (akut/chronisch; Standardtests) Ökotoxisch, wenn $LC_{50}/EC_{50} < 0,1 \text{ mg/L}$ oder $NOEC < 0,01 \text{ mg/L}$ gemäß Annex XIII der REACH-Verordnung ¹³ und zugehörigem Leitfaden ¹⁴ (nicht ökotoxisch, wenn $EC_{50} >$ Wasserlöslichkeit)	BAC C12-C16: Fisch Toxizität akut: $LC_{50} (P. promelas, 96h) = 0,28 \text{ mg/L}$ ² $LC_{50} (L. macrochirus, 96h) = 0,52 \text{ mg/L}$ ² $LC_{50} (O. mykiss, 96h) = 0,93 \text{ mg/L}$ ² Fisch Toxizität chronisch: $NOEC (P. promelas, 34d) = 0,0322 \text{ mg/L}$ ² Aquat. Invertebraten Toxizität akut: $EC_{50} (Daphnia magna, 48h) = 0,012 \text{ mg/L}$ ² Konzentrationsbereich für Invertebraten Toxizität ⁵ : Akut $0,0056\text{--}3880 \text{ mg/L}$ Chronisch $0,00006\text{--}5 \text{ mg/L}$ Aquat. Invertebraten Toxizität chronisch: $NOEC (D. magna, 21d) \geq 0,00415 \text{ mg/L}$ ² Algen Toxizität akut:	+

Bezugswert / Triggerwert	Daten für jeweiligen Stoff	Bewertung der Besorgnis (Besorgnis durch „+“ bzw. keine durch „-“ gekennzeichnet)
	<p>E_{rC50} (<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>, 72h) = 0,049 mg/L²</p> <p>E_{rC10} (<i>P. subcapitata</i>, 72h) = 0,009 mg/L²</p> <p>Aquat. Pflanzen Toxizität: E_{rC50} (<i>Lemna gibba</i>, 7d) = 0,25 mg/L²</p>	

Tabelle 1.4: Gleichwertige zusätzliche Besorgnisgründe von ADBAC/BAC

	Bewertungsgrundlage	Bewertung
Bioakkumulation/ Lipophilie	<p>BAC C12-C16</p> <p>BCF_{Fisch} = 79 L/kg²</p> <p>Nachweis in Blut und Muttermilch des Menschen (s.o.)</p>	Bioakkumulationspotential ist laut BCF gering. Dennoch wurden BACs in mehreren Studien im Menschen Nachgewiesen
Verhalten in Kläranlagen	<p>QAV sorbieren während der Abwasserbehandlung aufgrund ihrer positiven Ladung und der hydrophoben Alkylketten stark am Belebtschlamm¹⁹ und können Biotransformationsprozessen unterliegen²⁰. Der Eintrag in Oberflächengewässer ist dennoch möglich durch Adsorption an Partikel im Abwasser²¹. Auch Mischwasserentlastungen spielen eine Rolle beim Eintrag in die Gewässer (Entwurf Forschungsbericht, Veröffentlichung erfolgt in Kürze²²) – besonders für stark sorbierende Substanzen ist dieser Pfad relevant. QAV werden sowohl im Ablauf von Kläranlagen nachgewiesen²³ als auch in Oberflächengewässern (s.o.).</p>	Das ubiquitäre Vorkommen von QAV (v.a. adsorbiert an Schwebstoffen) in der aquatischen Umwelt deutet auf eine limitierte Entfernenbarkeit in Kläranlagen oder auf eine Pseudopersistenz hin.
Förderung Antibiotikaresistenzen	<p>QAV können mikrobielle Adaptionen bewirken. Dies kann langfristig zur Ausbildung von Antibiotikaresistenzen über Kreuzresistenz (Modifikation von Effluxpumpen) beitragen.²⁴⁻²⁶ Darüber hinaus adsorbieren QAV stark an Schwebstoffen, die die Formation von Biofilmen begünstigen. Mikroorganismen kommen dadurch in Kontakt mit QAV und können Resistzenzen ausbilden.²⁷</p>	In der aquatischen Umwelt könnten Schwebstoffe mit adsorbierten QAV zum „Hotspot“ für die Ausbildung/ Verbreitung von Antibiotikaresistenzen werden.

Tabelle 1.5: Weitere Informationen und Bezugswerte von ADBAC/ BAC

	Bezugswerte, Einstufungen	Bewertung und ggfs. Vergleich mit Monitoringdaten
PNEC-Werte	BAC C12-C16: PNEC _{Water} = 0,415 µg/ L (Sicherheitsfaktor, SF = 10) ² PNEC _{Sediment} = 6,81 µg/ g (SF = 10) ²	Die PNEC _{Water} wird entsprechend der vorliegenden Monitoringdaten knapp nicht überschritten (wenige ng/L Differenz). PNEC _{Sediment} wird nicht überschritten, die Messdaten befinden sich jedoch in ähnlicher Größenordnung.
CLP-Einstufung	Harmonisierte Einstufung für QAVs (BAC C8-C18) lt. Anhang VI, CLP-VO: Akute Toxizität, Kategorie 4, Verschlucken; H302 Akute Toxizität, Kategorie 4, Hautkontakt; H312 Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314 Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400	
WGK-Einstufung	WGK 2 - deutlich wassergefährdend ²⁸	

2 DDAC

Tabelle 2.1: Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Gewässern und Biota von DDAC

Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [$\mu\text{g}/\text{L}$]
Oberflächengewässer (Rhein, Ruhr, Sieg, Lippe, Emscher, Wupper, Erft, Niers)	<p>2014, DDAC C10 ⁷</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 – 0,093 (Konzentrationsbereich über alle Messstellen) • BG= 0,010 <p>Rhein (6 Messstationen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,027 – 0,063 <p>Ruhr (2 Messstationen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 <p>Sieg</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 <p>Lippe</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 <p>Emscher</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,093 <p>Wupper</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 <p>Erft</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 0,010 <p>Niers</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,027
Schwebstoffe, Deutschland (Saar, Rhein, Mulde)	<p>2006 – 2021 ⁸</p> <p>Maximalwerte der jährlichen Sammelproben (MEC_{max}) [$\mu\text{g}/\text{g}$]</p> <p>Saar</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3,51 (DDAC C8-C10) • 8,82 (DDAC C16-C18) • 3,91 (DDAC C8-C16) • 11,2 (DDAC C8-C18) <p>Rhein</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,43 (DDAC C8-C10) • 1,26 (DDAC C16-C18) • 0,53 (DDAC C8-C16) • 1,42 (DDAC C8-C18) <p>Mulde</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,16 (DDAC C8-C10) • 0,07 (DDAC C16-C18) • 0,19 (DDAC C8-C16) • 0,199 (DDAC C8-C18)
Schwebstoffe, Deutschland (Saar, Rhein, Elbe, Donau, Mulde, Saale)	<p>2013 – 2019 ⁹</p> <p>Jährliche Sammelproben [$\mu\text{g}/\text{g}$ Trockengewicht]</p> <p>DDAC C8</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,018 (Minimalkonzentration) • 0,054 (Median)

Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [µg/L]
Oberflächengewässer, 22 Europäische Länder und Flusseinzugsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • 0,24 (Maximalkonzentration) <p>DDAC C10</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,085 (Minimalkonzentration) • 0,89 (Median) • 5,6 (Maximalkonzentration) <p>2024 (n=445) ²⁹</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1,4 (Median)
NTS Daten Deutschland	<p>DDAC C10 (CAS 20256-56-8), 2005-2022 ³⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% Detektionshäufigkeit an 11 von 13 Messstandorten (SPM) • Überwiegend kein signifikant fallender oder steigender Trend (der letzten 7 Jahre, 2015-2022) • 4 – 4356 ng/g dw (Konzentrationsbereich) • 25 – 3121 ng/g dw (Mittelwerte)
Biomonitoring, Mensch	<p>Plasma, (n=43) ¹⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> • BAC C10 – C16, DDAC C10 • 80% Detektionshäufigkeit • 0,01 – 58,7 µg/L (Gesamtkonzentration) <p>Serum, (n=111) ¹¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • 14 QAVs: ATMACs C12–C18, BACs C8–C18, DDACs C8–C10 und C14–C18) • 97% Detektionshäufigkeit • 6,04 µg/L (Median) während COVID-19 Pandemie (2020) • 3,41 µg/L (Median) vor COVID-19 Pandemie (2019, signifikanter Unterschied zu während der Pandemie) • Anteil der DDAC an der Summe QAV machte 0 und 2% der Gesamtkonzentration aus <p>Muttermilch, (n=48) ¹²</p> <p>Σ DDAC</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 2,2 – 2,8 µg/L (Median) • Detektionshäufigkeit 15%

Tabelle 2.2: Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Kläranlagen von DDAC

Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Kläranlagen	
Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [µg/L]
Kläranlagenabflüsse	<p>2014 (n= 13) ⁷</p> <p>DDAC C10</p> <ul style="list-style-type: none"> • < BG – 0,091 • BG= 0,01

Tabelle 2.3: Stoffeigenschaften gemäß Relevanzkriterien von DDAC

Bezugswert / Triggerwert	Daten für jeweiligen Stoff	Bewertung der Besorgnis (Besorgnis durch „+“ bzw. keine durch „-“ gekennzeichnet)
Persistenz/ biologische Abbaubarkeit Persistent, wenn „nicht leicht biologisch abbaubar“ / „nicht inhärent abbaubar“ oder gemäß Annex XIII der REACH-Verordnung ¹³ und zugehörigem Leitfaden ¹⁴	DDAC C10: readily biodegradable (OECD 301B) ³ hydrolytically stable during the 30-day hydrolysis study at pH 5, 7 or 9 at 25°C ³	-
Mobilität/ Adsorptionsfähigkeit Mobil (M): $\log K_{OC} < 3$ Sehr mobil (vM): $\log K_{OC} < 2$ ¹⁵	DDAC C10: $K_{OC} = 562314 \text{ L/kg}$ ³ $\log K_{OC} = 5,7$ ³	-
Humantoxizität (auf Basis von CLP) Humantoxisch, wenn die Kriterien zur Klassifizierung nach CLP-Verordnung Kategorie Kanzerogen (1A, 1B) oder Keimzellmutagen (1A, 1B) oder Reproduktionstoxisch (Kategorie 1A, 1B, 2) oder STOT RE (1, 2) erfüllt sind ¹⁶	Keine Einstufung	-
Ökotoxizität (akut/chronisch; Standardtests) Ökotoxisch, wenn $LC_{50}/EC_{50} < 0,1 \text{ mg/L}$ oder $NOEC < 0,01 \text{ mg/L}$ gemäß Annex XIII der REACH-Verordnung ¹³ und zugehörigem Leitfaden ¹⁴ (nicht ökotoxisch, wenn $EC_{50} > \text{Wasserlöslichkeit}$)	DDAC C10: Fisch Toxizität akut: $LC_{50} (P. promelas, 96h) = 0,19 \text{ mg/L}$ ³ Fisch Toxizität chronisch: $NOEC (Brachydanio rerio, 34d) = 0,0322 \text{ mg/L}$ ³ Aquat. Invertebraten Toxizität akut: $EC_{50} (Daphnia magna, 48h) = 0,062 \text{ mg/L}$ ³ Aquat. Invertebraten Toxizität chronisch: $NOEC (D. magna, 21d) = 0,010 \text{ mg/L}$ ³ $NOEC (D. magna, 21d) = 0,021 \text{ mg/L}$ ³ Algen Toxizität akut: $E_{C50} (96h) = 0,021 \text{ mg/L}$ ³ $NOE_{C(96h)} = 0,011 \text{ mg/L}$ ³ Konzentrationsbereich für Algen Toxizität ⁵ : Akut $0,0142-3,6 \text{ mg/L}$	+

Bezugswert / Triggerwert	Daten für jeweiligen Stoff	Bewertung der Besorgnis (Besorgnis durch „+“ bzw. keine durch „-“ gekennzeichnet)
	Chronisch 0,001–0,1 mg/L	

Tabelle 2.4: Gleichwertige zusätzliche Besorgnisgründe von DDAC

	Bewertungsgrundlage	Bewertung
Bioakkumulation/ Lipophilie	DDAC C10 BCF _{Fisch} = 81 L/kg ³ Nachweis in Blut und Muttermilch des Menschen (s.o.)	Bioakkumulationspotential ist laut BCF gering. Dennoch wurden DDACs in mehreren Studien im Menschen nachgewiesen
Verhalten in Kläranlagen		s.o. unter Gleichwertige zusätzliche Besorgnisgründe von ADBAC/BAC
Förderung Antibiotikaresistenzen	QAV können mikrobielle Adaptionen bewirken. Dies kann langfristig zur Ausbildung von Antibiotikaresistenzen über Kreuzresistenz (Modifikation von Effluxpumpen) beitragen. ^{24–26} Darüber hinaus adsorbieren QAV stark an Schwebstoffen, die die Formation von Biofilmen begünstigen. Mikroorganismen kommen dadurch in Kontakt mit QAV und können Resistenzen ausbilden. ²⁷	In der aquatischen Umwelt könnten Schwebstoffe mit adsorbierten QAV zum „Hotspot“ für die Ausbildung/ Verbreitung von Antibiotikaresistenzen werden.

Tabelle 2.5: Weitere Informationen und Bezugswerte DDAC

	Bezugswerte, Einstufungen	Bewertung und ggf. Vergleich mit Monitoringdaten
PNEC-Werte	PNEC _{Water} = 1,1 µg/ L (SF = 10) ³ PNEC _{Sediment} = 6,19 µg/g (SF = 10) ³	PNEC _{Water} und PNEC _{Sediment} werden entsprechend der vorliegenden Monitoringdaten überschritten
CLP-Einstufung	Harmonisierte Einstufung für DDAC lt. Anhang VI, CLP-VO: <ul style="list-style-type: none">• Akute Toxizität, Kategorie 4, Verschlucken; H302• Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314	

3 ATMAC/ TMAC

Tabelle 3.1: Ausgewählte Daten zum Vorkommen in Gewässern und Biota von ATMAC/ TMAC

Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [$\mu\text{g/L}$]
Europa, 22 Flusseinzugsgebiete, Oberflächengewässer	2016-2019 ²⁹ <ul style="list-style-type: none"> • 0,42 (Median) • 0,63 (Durchschnitt) • 0,14 – 1,5 (Minimum und Maximum) • In 4 von 445 Proben detektiert
Schwebstoffe Rhein, Deutschland	2006 – 2021 ⁸ Anstieg der Konzentration in jährlichen Sammelproben um 199 % (ATMAC C20) und 216 % (ATMAC C22)
Schwebstoffe, Deutschland (Saar, Rhein, Mulde)	2006 – 2021 ⁸ Maximalwerte der jährlichen Sammelproben (MEC_{max}) [$\mu\text{g/g}$] Saar <ul style="list-style-type: none"> • 0,762 (Σ ATMAC C10-C18) • 2,74 (Σ ATMAC C20-C22) • 2,95 (Σ ATMAC C18-C22) Rhein <ul style="list-style-type: none"> • 0,079 (Σ ATMAC C10-C18) • 0,274 (Σ ATMAC C20-C22) • 0,313 (Σ ATMAC C18-C22) Mulde <ul style="list-style-type: none"> • 0,041 (Σ ATMAC C10-C18) • 0,150 (Σ ATMAC C20-C22) • 0,174 (Σ ATMAC C18-C22)
NTS Daten Deutschland	ATMAC C12 Wasser, Koblenz, 2017-2024, Tagesmischproben ³¹ : Detektionsrate (FoD): 13 % Trend: signifikant fallender Trend ($p < 0.001$) Konzentrationen (Semi-Quantifizierung) ³² : 0,0003 - 0,1139 $\mu\text{g/L}$ (Bereich) 0,0061 $\mu\text{g/L}$ (Mittelwert) Schwebstoffe, 2005-2022, Jahresmischproben ^{31,33} : Detektionsrate (FoD): 100% an 9 von 13 Messstationen (an 4 von 13 FoD = 0%) Trend: keine Trends an 7 von 13 Messstationen, signifikant fallender Trend an einer Messstation, signifikant steigender Trend an einer Messstation ($p < 0.05$) Konzentrationen (Semi-Quantifizierung) ³² : 0 - 50 ng/g dw (Bereich) 2 - 23 ng/g dw (Mittelwert) ATMAC C14 Wasser, Koblenz, 2017-2024, Tagesmischproben ³¹ : Detektionsrate (FoD): 3 %

Bezug/Betrachtungseinheit	Jahr und Monitoringdaten [$\mu\text{g}/\text{L}$]
	<p>Trend: kein signifikant fallender oder steigender Trend ($p > 0.05$)</p> <p>Konzentrationen (Semi-Quantifizierung)³²:</p> <p>0,004 - 0,008 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Bereich)</p> <p>0,006 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Mittelwert)</p> <p> Schwebstoffe, 2005-2022, Jahresmischproben^{31,33}:</p> <p>Detektionsrate (FoD): 100% an 5 von 13 Messstationen (an 8 von 13 FoD = 0%)</p> <p>Trend: keine Trends an 3 von 13 Messstationen, signifikant fallender Trend an 2 Messstation ($p < 0.05$)</p> <p>Konzentrationen (Semi-Quantifizierung)³²:</p> <p>0 - 25 ng/g dw (Bereich)</p> <p>2 - 12 ng/g dw (Mittelwert)</p> <p> ATMAC C18</p> <p>Wasser, Koblenz, 2017-2024, Tagesmischproben³¹:</p> <p>Detektionsrate (FoD): 8 %</p> <p>Trend: kein signifikant fallender oder steigender Trend ($p > 0.05$)</p> <p>Konzentrationen (Semi-Quantifizierung)³²:</p> <p>0,001 - 0,138 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Bereich)</p> <p>0,005 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Mittelwert)</p> <p> Schwebstoffe, 2005-2022, Jahresmischproben^{31,33}:</p> <p>Detektionsrate (FoD): 100% an 11 von 13 Messstationen (an 2 von 13 FoD = 0%)</p> <p>Trend: keine Trends an 8 von 13 Messstationen, signifikant fallender Trend an 2 Messstation, signifikant steigender Trend an 1 Messstation ($p < 0.05$)</p> <p>Konzentrationen (Semi-Quantifizierung)³²:</p> <p>1 - 289 ng/g dw (Bereich)</p> <p>4 - 167 ng/g dw (Mittelwert)</p>
Biomonitoring, Mensch	<p>Serum, (n=111) ¹¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • 14 QAVs: ATMACs C12–C18, BACs C8–C18, DDACs C8–C10 und C14–C18) • 97% Detektionshäufigkeit • 6,04 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) während COVID-19 Pandemie (2020) • 3,41 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) vor COVID-19 Pandemie (2019, signifikanter Unterschied zu während der Pandemie) • Anteil der ATMAC an der Summe QAV machte 50 und 66% der Gesamtkonzentration aus <p> Muttermilch, (n=48) ¹²</p> <p>Σ ATMAC</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,44 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Median) • Detektionshäufigkeit 29%

Tabelle 3.2: Stoffeigenschaften gemäß Relevanzkriterien von ATMAC / TMAC

Bezugswert / Triggerwert	Daten für jeweiligen Stoff	Bewertung der Besorgnis (Besorgnis durch „+“ bzw. keine durch „-“ gekennzeichnet)
Persistenz/ biologische Abbaubarkeit Persistent, wenn „nicht leicht biologisch abbaubar“ / „nicht inhärent abbaubar“ oder gemäß Annex XIII der REACH-Verordnung ¹³ und zugehörigem Leitfaden ¹⁴	readily biodegradable (OECD 301D) ⁴ hydrolytically stable during the 30-day hydrolysis study at pH 5, 7 or 9 at 25°C ⁴	-
Mobilität/ Adsorptionsfähigkeit Mobil (M): $\log K_{OC} < 3$ Sehr mobil (vM): $\log K_{OC} < 2$ ¹⁵	$K_{OC} = 562314 \text{ L/kg}$ $\log K_{OC} = 5,7$ (Read-across basierend auf Strukturanalogen DDAC) ⁴	-
Humantoxizität (auf Basis von CLP) Humantoxisch, wenn die Kriterien zur Klassifizierung nach CLP-Verordnung Kategorie Kanzerogen (1A, 1B) oder Keimzellmutagen (1A, 1B) oder Reproduktionstoxisch (Kategorie 1A, 1B, 2) oder STOT RE (1, 2) erfüllt sind ¹⁶	Keine Einstufung	-
Ökotoxizität (akut/chronisch; Standardtests) Ökotoxisch, wenn $LC_{50}/EC_{50} < 0,1 \text{ mg/L}$ oder $NOEC < 0,01 \text{ mg/L}$ gemäß Annex XIII der REACH-Verordnung ¹³ und zugehörigem Leitfaden ¹⁴ (nicht ökotoxisch, wenn $EC_{50} >$ Wasserlöslichkeit)	Read-across basierend auf Strukturanalogen DDAC (mit Correction factor 0,75) und BAC C12-16 (mit Correction factor 0,77) ⁴ Fisch Toxizität akut (DDAC read-across mit correction factor): $LC_{50} (P. promelas, 96h) = 0,14 \text{ mg/L}$ ⁴ Fisch Toxizität chronisch (DDAC read-across mit correction factor): $NOEC (Danio rerio, 34d) = 0,024 \text{ mg/L}$ ⁴ Aquat. Invertebraten Toxizität akut (DDAC read-across mit correction factor): $EC_{50} (Daphnia magna, 48h) = 0,047 \text{ mg/L}$ ⁴ Aquat. Invertebraten Toxizität akut (C ₁₂₋₁₆ -BKC read-across mit correction factor): $EC_{50} (D. magna, 48h) = 0,012 \text{ mg/L}$ ⁴	+

Bezugswert / Triggerwert	Daten für jeweiligen Stoff	Bewertung der Besorgnis (Besorgnis durch „+“ bzw. keine durch „-“ gekennzeichnet)
	<p>Aquat. Invertebraten Toxizität chronisch (DDAC read-across mit correction factor):</p> <p>NOEC (<i>D. magna</i>, 21d) = 0,01 mg/L⁴</p> <p>Algen Toxizität akut (DDAC read-across mit correction factor):</p> <p>ErC₅₀(92h) = 0,016 mg/L⁴</p> <p>NOErC_(96h) = 0,008 mg/L⁴</p>	

Tabelle 3.3: Gleichwertige zusätzliche Besorgnisgründe von ATMAC/ TMAC

	Bewertungsgrundlage	Bewertung
Bioakkumulation/ Lipophilie	<p>BCF_{Fisch} = 81 L/kg (Read-across basierend auf Strukturanalogen DDAC)⁴</p> <p>Nachweis in Blut und Muttermilch des Menschen (s.o.)</p>	Bioakkumulationspotential ist laut BCF gering. Dennoch wurden ATMACs in mehreren Studien im Menschen nachgewiesen
Verhalten in Kläranlagen	Abbau in Kläranlagen und 4. Reinigungsstufe	s.o. unter Gleichwertige zusätzliche Besorgnisgründe von ADBAC/BAC
Förderung Antibiotikaresistenzen	<p>QAV können mikrobielle Adaptionen bewirken. Dies kann langfristig zur Ausbildung von Antibiotikaresistenzen über Kreuzresistenz (Modifikation von Effluxpumpen) beitragen.²⁴⁻²⁶</p> <p>Darüber hinaus adsorbieren QAV stark an Schwebstoffen, die die Formation von Biofilmen begünstigen. Mikroorganismen kommen dadurch in Kontakt mit QAV und können Resistzenzen ausbilden.²⁷</p>	In der aquatischen Umwelt könnten Schwebstoffe mit adsorbierten QAV zum „Hotspot“ für die Ausbildung/ Verbreitung von Antibiotikaresistenzen werden.

Tabelle 3.4: Weitere Informationen und Bezugswerte von ATMAC/ TMAC

	Bezugswerte, Einstufungen	Bewertung und ggf. Vergleich mit Monitoringdaten
PNEC-Werte	PNEC _{Water} = 0,8 µg/ L (SF = 10, basierend auf read-across von DDAC mit correction factor) ⁴	Entsprechend der vorliegenden Monitoringdaten wird der PNEC _{Water} überschritten.

	Bezugswerte, Einstufungen	Bewertung und ggf. Vergleich mit Monitoringdaten
CLP Einstufung (nicht harmonisiert)	<p>PNEC_{Sediment} = 3,98 µg/g (SF = 100, basierend auf read-across von DDAC mit correction factor)⁴</p> <p>It. Assessment report CLP Einstufung für ATMAC/ TMAC (keine harmonisierte Einstufung):</p> <p>is classified according to CLP: H301; H311; H314; EUH071; H400 (M factor=10)</p>	Schwebstoffkonzentrationen unterschreiten nur knapp den PNEC _{Sediment} .
WGK-Einstufung	WGK 3 – Stark wassergefährdend ³⁴	

4 Entscheidung

Entscheidung des Gremiums zur Bewertung der Relevanz von Spurenstoffen

Basierend auf dem vorliegenden Kurzdossier wurde am 05.11.2025 folgende Entscheidung zur Relevanz der Stoffe unter der Stoffgruppe der QAV gefällt: BAC/ ADBAC, DDAC und ATMAC/ TMAC sind relevante Spurenstoffe.

Die betrachteten QAV BAC/ ADBACs, DDACs und ATMAC/ TMAC erfüllen das Kriterium zur Ökotoxizität. Eine harmonisierte humantoxische Einstufung nach CLP-VO, die zur Erfüllung des Kriteriums zur Humantoxizität gegeben sein muss, liegt derzeit nicht vor. Zudem wurden QAV bereits im Blut und der Muttermilch des Menschen nachgewiesen.

Die Kriterien zur Persistenz und Mobilität sind nicht erfüllt. Die betrachteten QAV BAC/ ADBACs, DDACs und ATMAC/ TMAC kommen dennoch ubiquitär, vor allem an Schwebstoff gebunden, in Oberflächengewässer in Deutschland vor⁸. Dies und der Nachweis im Kläranlagenablauf deutet darauf hin, dass die Entfernung in der Kläranlage limitiert ist oder, dass der Eintrag aus dem kommunalen Abwasser so hoch ist, dass trotz anteiliger Entfernung in der Kläranlage ein gewisser Eintrag ins Oberflächengewässer stattfindet. Zudem werden PNECs entsprechend der vorliegenden Monitoringdaten im Wasser- und Sedimentkompartiment von DDAC und im Wasser von ATMAC/ TMAC bereits überschritten und von BAC nur knapp unterschritten, sodass adverse Effekte auf sensitive Organismen im aquatischen Ökosystem nicht ausgeschlossen werden können.

Ein weiterer Besorgnisgrund ist die Förderung von Antibiotikaresistenzen.

Die betrachteten QAV BAC/ ADBACs, DDACs und ATMAC/ TMAC sind ökotoxisch und kommen ubiquitär an Schwebstoffen adsorbiert in den betrachteten Oberflächengewässern vor, wobei PNECs zum Teil bereits überschritten sind. Sie sind daher als relevante Spurenstoffe einzustufen.

Quellen

- (1) Mohapatra, S.; Yutao, L.; Goh, S. G.; Ng, C.; Luhua, Y.; Tran, N. H.; Gin, K. Y.-H. Quaternary Ammonium Compounds of Emerging Concern: Classification, Occurrence, Fate, Toxicity and Antimicrobial Resistance. *Journal of Hazardous Materials* **2023**, *445*, 130393. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130393>.
- (2) ECHA. *Assessment Report - Alkyl (C12-16) Dimethylbenzyl Ammonium Chloride Producttype 1 (Human Hygiene)*; Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products; Evaluation of active substances; 2021. <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/4f6e78ea-999d-2f38-58f6-ec625b3b8e91> (accessed 2025-03-26).
- (3) ECHA. *Assessment Report - Didecyldimethylammonium Chloride (DDAC) Product-Type 1 (Human Hygiene)*; Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products; Evaluation of active substances; 2021. <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/0b1ab02f-132e-1831-3915-574a3868ac1f> (accessed 2025-03-28).
- (4) ECHA. *Assessment Report - Coco Alkyltrimethylammonium Chloride Product-Type 8 (Wood Preservative)*; Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products; Evaluation of active substances; 2016. <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/b1406a51-874a-ea4c-83b5-df2c1b898632> (accessed 2025-03-26).
- (5) DeLeo, P. C.; Huynh, C.; Pattanayek, M.; Schmid, K. C.; Pechacek, N. Assessment of Ecological Hazards and Environmental Fate of Disinfectant Quaternary Ammonium Compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2020**, *206*, 111116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111116>.
- (6) Arnold, W. A.; Blum, A.; Branyan, J.; Bruton, T. A.; Carignan, C. C.; Cortopassi, G.; Datta, S.; DeWitt, J.; Doherty, A.-C.; Halden, R. U.; Harari, H.; Hartmann, E. M.; Hrubec, T. C.; Iyer, S.; Kwiatkowski, C. F.; LaPier, J.; Li, D.; Li, L.; Muñiz Ortiz, J. G.; Salamova, A.; Schettler, T.; Seguin, R. P.; Soehl, A.; Sutton, R.; Xu, L.; Zheng, G. Quaternary Ammonium Compounds: A Chemical Class of Emerging Concern. *Environ. Sci. Technol.* **2023**, *57* (20), 7645–7665. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08244>.
- (7) LANUK. *ECHO-Stoffbericht Quartäre Ammoniumverbindungen (QAV)*; 2014. https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuv/analytik/pdf/ECHO_QAV_Mai_2014.pdf (accessed 2025-04-02).
- (8) Lennartz, S.; Koschorreck, J.; Göckener, B.; Weinfurtner, K.; Frohböse-Körner, A.; Siemens, J.; Balachandran, S.; Glaeser, S. P.; Mulder, I. Downstream Effects of the Pandemic? Spatiotemporal Trends of Quaternary Ammonium Compounds in Suspended Particulate Matter of German Rivers. *Journal of Hazardous Materials* **2024**, *480*, 136237. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136237>.
- (9) Dierkes, G.; Schmidt, S.; Meier, C.; Ziegler, K.; Koschorreck, J.; Wick, A. Retrospective Trend Analysis of Biocides in Suspended Particulate Matter of Major German Rivers. *Environmental Sciences Europe* **2025**, *37* (1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01053-5>.
- (10) Hrubec, T. C.; Seguin, R. P.; Xu, L.; Cortopassi, G. A.; Datta, S.; Hanlon, A. L.; Lozano, A. J.; McDonald, V. A.; Healy, C. A.; Anderson, T. C.; Musse, N. A.; Williams, R. T. Altered Toxicological Endpoints in Humans from Common Quaternary Ammonium Compound Disinfectant Exposure. *Toxicology Reports* **2021**, *8*, 646–656. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.03.006>.
- (11) Zheng, G.; Webster, T. F.; Salamova, A. Quaternary Ammonium Compounds: Bioaccumulation Potentials in Humans and Levels in Blood before and during the Covid-19 Pandemic. *Environmental science & technology* **2021**, No. 55(21), 14689–14698. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01654>.
- (12) Zheng, G.; Schreder, E.; Sathyanarayana, S.; Salamova, A. The First Detection of Quaternary Ammonium Compounds in Breast Milk: Implications for Early-Life Exposure. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* **2022**, *32* (5), 682–688. <https://doi.org/10.1038/s41370-022-00439-4>.
- (13) Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 Des Europäischen Parlaments Und Des Rates Vom 18. Dezember 2006 Zur Registrierung, Bewertung, Zulassung Und Beschränkung Chemischer Stoffe (REACH); 2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006R1907-20231201> (accessed 2022-07-08).
- (14) European Chemicals Agency. *Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment: Chapter R.11: PBT and vPvB Assessment.*; Version 4.0; Publications Office, 2023.

- (15) EUROPÄISCHE KOMMISSION. *DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2023/707 DER KOMMISSION Vom 19. Dezember 2022 Zur Änderung Der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 in Bezug Auf Die Gefahrenklassen Und Die Kriterien Für Die Einstufung, Kennzeichnung Und Verpackung von Stoffen Und Gemischen.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R0707&qid=1681394384679&from=EN> (accessed 2023-04-14).
- (16) *Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32008R1272> (accessed 2022-07-08).
- (17) Luz, A.; DeLeo, P.; Pechacek, N.; Freemantle, M. Human Health Hazard Assessment of Quaternary Ammonium Compounds: Didecyl Dimethyl Ammonium Chloride and Alkyl (C12–C16) Dimethyl Benzyl Ammonium Chloride. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **2020**, *116*, 104717. <https://doi.org/10.1016/j.yrph.2020.104717>.
- (18) Osimitz, T. G.; Droege, W. Quaternary Ammonium Compounds: Perspectives on Benefits, Hazards, and Risk. *Toxicology Research and Application* **2021**, *5*, 23978473211049085. <https://doi.org/10.1177/23978473211049085>.
- (19) Abbott, T.; Kor-Bicakci, G.; Islam, M. S.; Eskicioglu, C. A Review on the Fate of Legacy and Alternative Antimicrobials and Their Metabolites during Wastewater and Sludge Treatment. *International Journal of Molecular Sciences* **2020**, *21* (23). <https://doi.org/10.3390/ijms21239241>.
- (20) Clara, M.; Scharf, S.; Scheffknecht, C.; Gans, O. Occurrence of Selected Surfactants in Untreated and Treated Sewage. *Water Research* **2007**, *41* (19), 4339–4348. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.027>.
- (21) Games, L. M.; King, J. E.; Larson, R. J. Fate and Distribution of a Quaternary Ammonium Surfactant, Octadecyltrimethylammonium Chloride (OTAC), in Wastewater Treatment. *Environ. Sci. Technol.* **1982**, *16* (8), 483–488. <https://doi.org/10.1021/es00102a011>.
- (22) *BfG - FuE Projekt-Suche - Ökotoxikologische Wirkungen von quartären Ammoniumverbindungen (QAV) und Belastung in Gewässern.* <https://www.bafg.de/SharedDocs/Projekte/Importer/M39620204072.html> (accessed 2025-11-21).
- (23) Hora, P. I.; Pati, S. G.; McNamara, P. J.; Arnold, W. A. Increased Use of Quaternary Ammonium Compounds during the SARS-CoV-2 Pandemic and Beyond: Consideration of Environmental Implications. *Environ. Sci. Technol. Lett.* **2020**, *7* (9), 622–631. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00437>.
- (24) Boyce, J. M. Quaternary Ammonium Disinfectants and Antiseptics: Tolerance, Resistance and Potential Impact on Antibiotic Resistance. *Antimicrobial Resistance & Infection Control* **2023**, *12* (1), 32. <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01241-z>.
- (25) Tezel, U.; Pavlostathis, S. G. Quaternary Ammonium Disinfectants: Microbial Adaptation, Degradation and Ecology. *Current Opinion in Biotechnology* **2015**, *33*, 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.03.018>.
- (26) Mulder, I.; Siemens, J.; Sentek, V.; Amelung, W.; Smalla, K.; Jechalke, S. Quaternary Ammonium Compounds in Soil: Implications for Antibiotic Resistance Development. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **2018**, *17* (1), 159–185. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9457-7>.
- (27) Walch, H.; von der Kammer, F.; Hofmann, T. Freshwater Suspended Particulate Matter—Key Components and Processes in Floc Formation and Dynamics. *Water Research* **2022**, *220*, 118655. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118655>.
- (28) Umweltbundesamt. *Suchergebnis (Detail) n-Alkyl(C8-C18)benzyldimethylammoniumchlorid und -bromid – Rigoletto.* Kenn-Nummer: 599. <https://webrigoletto.uba.de/Rigoletto/Home/SearchDetail/599> (accessed 2025-03-27).
- (29) Finckh, S.; Carmona, E.; Borchardt, D.; Büttner, O.; Krauss, M.; Schulze, T.; Yang, S.; Brack, W. Mapping Chemical Footprints of Organic Micropollutants in European Streams. *Environment International* **2024**, *183*, 108371. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108371>.
- (30) Federal Institute of Hydrology (BfG). NTSPortal Consortium (2023). <https://ntspotal.bafg.de>.
- (31) Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). *NTSPortal.* <https://ntspotal.bafg.de>. (accessed 2025-05-09).
- (32) Umweltbundesamt (UBA). Refoplanprojekt “Gewässerbeobachtung Der Zukunft II”. FKZ 3723 22 2020. 2025.
- (33) *Schwebstoffproben Der Umweltdatenbank Des Bundes (UPB).*

- (34) Umweltbundesamt. *Suchergebnis (Detail) n-Alkyl(C12-C16)trimethylammoniumchlorid und-bromid – Rigoletto*. Kenn-Nummer: 600. <https://webrigoletto.uba.de/Rigoletto/Home/SearchDetail/600> (accessed 2025-03-27).

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Spurenstoffzentrum des Bundes
Spurenstoffzentrum@uba.de
Internet: www.spurenstoffzentrum.de

Autorenschaft, Institution

Umweltbundesamt
Internet:
www.umweltbundesamt.de
 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)