

UV-Filter in Sonnenschutzmitteln – Bewertung hormonähnlicher Eigenschaften und möglicher Gefahren für die Umwelt

UV filter substances in cosmetics – Evaluation of their endocrine properties and resulting environmental hazards

ZUSAMMENFASSUNG

UV-Filtersubstanzen in Sonnencremes und anderen Kosmetika sind unverzichtbar, um die Bevölkerung und Erwerbstätige vor den schädlichen Effekten durch ein Übermaß an UV-Strahlung bei Aktivitäten im Freien zu schützen. Die Kehrseite der Medaille ist, dass es in Bezug auf einige der weit verbreiteten UV-Filter eine zunehmende Besorgnis gibt, dass diese Stoffe als endokrine Disruptoren in der Umwelt wirken können. Dieser Artikel beschreibt daher, warum endokrine Stoffe in der Umwelt problematisch sind und zeigt anhand aktueller Beispiele, wie diese Substanzen innerhalb der EU identifiziert und reguliert werden können. Abschließend werden für Verbraucherinnen und Verbraucher Tipps gegeben, wie ein Eintrag von UV-Filtern aus Sonnencreme und Kosmetika in die Umwelt durch einfache Maßnahmen verringert und so der Zielkonflikt zwischen bestmöglichem Gesundheits- und Umweltschutz entschärft werden kann.

SABINE GERMER,
SIMONE SCHALLES,
FRANZISKA KASSNER,
ENKEN HASSOLD,
FRAUKE STOCK,
JONA SCHULZE,
JÜRGEN ARNING

ABSTRACT

UV filter substances in sunscreen and other cosmetics are necessary to protect people and workers against the harmful health effects of an excess of UV radiation during outdoor activities. However, there is an increasing concern that some commonly used UV filter substances may act as endocrine disrupting chemicals in the environment. This article provides an overview of the problems endocrine active substances can cause in the environment, describes, using recent examples, how such substances are identified and regulated and finally it gives some recommendations on how consumers can act to reduce the environmental impact of UV filter substances emanating from cosmetics.

EINLEITUNG

Hormonaktive Stoffe stören die natürliche Funktion des Hormonsystems von Menschen und Tieren und können dadurch schwerwiegende Effekte in Organismen, Populationen und Ökosystemen verursachen. Stoffe, die aufgrund ihrer Interaktion mit dem Hormonsystem erwiesenermaßen schwerwiegende Effekte verursachen können, werden auch als endokrine Disruptoren bezeichnet. Auch einige UV-Filter in Sonnencremes können aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften mit dem Hormonsystem interagieren.

Aquatische Lebewesen, zum Beispiel Fische und Amphibien, können im Wasser gelöste Substanzen, wie UV-Filtersubstanzen aus Kosmetika, auf verschiedenen Wegen aufnehmen: über die Haut, den Verdauungstrakt und zum Teil auch über die Kiemen.

Einige UV-Filter in Sonnenschutzmitteln wirken in Organismen ähnlich wie das weibliche Sexualhormon Östrogen, oder sie blockieren die natürliche Wirkung von Androgenen, den männlichen Sexualhormonen. Wenn hormonaktive Stoffe in Gewässer gelangen, kann es so zum Beispiel bei Fischen zu einer Geschlechterverschiebung (z.B. „Verweiblichung“)



Quelle: Calin Stan /
iStock.com.

innerhalb einer Population kommen. Dadurch können gravierende Auswirkungen auf die Vermehrung und damit auf die Überlebensfähigkeit einer Population eintreten.

Auch Effekte auf die Bildung, den Transport und die Wirkung von Schilddrüsenhormonen sind möglich. So steht zum Beispiel die weit verbreitete UV-Filtersubstanz Octinoxat (Octylmethoxycinnamat) im Verdacht, auch eine anti-thyroidale Aktivität aufzuweisen. Dies ist besonders relevant für Amphibien, da Schilddrüsenhormone im Frosch die Entwicklung von der Kaulquappe zum Frosch auslösen und steuern. Eine Störung führt dann zum Beispiel zu einer verzögerten Entwicklung oder zu Fehlbildungen. Durch die Effekte können Auswirkungen auf ganze Populationen entstehen, wodurch empfindliche Tierarten oder bereits gestresste Tierpopulationen bedroht werden können.

Hormonaktive Stoffe in Sonnenschutzmitteln sind für die Umwelt auch deshalb besonders problematisch, da sie durch Badende oft direkt in Gewässer gelangen

und nicht in der Kläranlage abgebaut oder gefiltert werden können.

REGULATORISCHE BEWERTUNG VON ENDOKRIN AKTIVEN STOFFEN

Die Bewertung der Umweltgefährlichkeit von UV-Filtern in Kosmetika und weiteren Produkten (z. B. Kunststoffe, Textilien) erfolgt unter der europäischen REACH-Verordnung (EG Nr. 1907/2006). Stoffe, die in Organismen populationsrelevante, adverse Effekte verursachen, die auf einen endokrinen Wirkmechanismus zurückzuführen sind, können unter REACH als sogenannte „Substances of very high concern (SVHC)“ identifiziert werden. Dazu muss außerdem noch gezeigt werden, dass diese endokrinen Effekte von vergleichbarer Besorgnis für die Umwelt sind, wie zum Beispiel die Effekte, die von persis-

tenten, bioakkumulierenden und toxischen Stoffen ausgehen. Aus Sicht des Umweltbundesamtes (UBA) können vor allem folgende Charakteristika endokriner Wirkungen für die Begründung dieser vergleichbaren Besorgnis herangezogen werden:

- Die Auswirkungen auf Tiere treten oft erst über lange Zeiträume hinweg oder sogar erst in der nachfolgenden Generation auf.
- Es kommt häufig vor, dass die nachfolgende Generation gegenüber hormonaktiven Stoffen empfindlicher ist als die vorige Generation.
- Ein kurzfristiges Einwirken von hormonaktiven Substanzen in frühen, sensiblen Entwicklungsstadien der Organismen kann gravierende Effekte auslösen, die sich aber erst spät in den ausgewachsenen Tieren zeigen und deshalb mit vielen Testsystemen, die oft nur einzelne Lebensphasen der Organismen abbilden können, nicht erfasst werden können.
- Viele Wirkweisen von hormonaktiven Substanzen in verschiedenen Tierarten sind noch unbekannt und wissenschaftliche Testmethoden zu deren Untersuchung fehlen oder sind erst in der Entwicklung.

Diese Eigenschaften sorgen dafür, dass Effekte von endokrinen Disruptoren in der Umwelt kaum vorhersagbar sind und eine sichere Umweltkonzentration, die protektiv für die sensibelsten Spezies ist, mit dem aktuellen Wissen und den zur Verfügung stehenden Testmethoden nicht ableitbar ist.

EINSATZ VON UV-FILTERN IN SONNENSCHUTZMITTELN

In Sonnencremes sind Stoffe vorhanden, die verhindern sollen, dass die UV-Strahlung des Sonnenlichtes Schäden in der Haut oder im darunter liegenden Gewebe verursacht. Es

gibt UV-Strahlung in verschiedenen Wellenlängenbereichen. So umfasst UV-A-Strahlung den Bereich von 400 bis 315 nm, UV-B-Strahlung den Bereich von 315 bis 280 nm und UV-C-Strahlung den Bereich zwischen 280 und 100 nm. Durch zu starke und lange Einwirkung des gesamten UV-Spektrums (hauptsächlich UV-A- und UV-B-Strahlung) steigt das Risiko für die Bildung von Hautkrebs.

Es gibt mehrere Wege, über die UV-Filtersubstanzen in Sonnencremes verhindern können, dass UV-Strahlung in die Haut gelangt. Dies kann durch Absorption, Streuung oder Reflexion der UV-Strahlung erfolgen.

Chemische UV-Filtersubstanzen wirken durch Absorption. Dabei wird die Energie der UV-Strahlung in den Molekülen der Filtersubstanzen absorbiert und in Wärme umgewandelt wieder abgegeben. Dadurch können die UV-Strahlen nicht tiefer in die Haut eindringen und dort Schäden, zum Beispiel an der DNA der Hautzellen, verursachen. Die chemische Struktur, die diese Absorption der UV-Strahlung ermöglicht, ist leider oft auch dafür verantwortlich, dass chemische UV-Filter hormonaktive Wirkungen haben können.

Eine andere Möglichkeit des Schutzes vor UV-Strahlung ist die Verwendung von mineralischen UV-Filtern. Diese mineralischen Filterpartikel aus Titandioxid (TiO_2) und Zinkoxid (ZnO) wirken im Gegensatz zu den chemischen Filtern durch Reflexion oder Streuung (diffuse Reflexion) der schädlichen UV-Strahlung auf der Haut. Mineralische Filter bilden auf der Haut normalerweise eine weißliche Schicht beim Eincremen aus. Um die Ausbildung der weißlichen Schicht zu vermeiden, werden häufig mineralische Filter in Nanopartikelgröße verwendet. Im Unterschied zu den „normalen“ mineralischen Filterpartikeln im Mikrometerbereich sind die Partikel in Nanoform wesentlich kleiner (mindestens 50% aller Partikel < 100 Nanometer). Für Umweltorganismen können Nanopartikel schädliche Auswirkungen haben. Laut der Studie von Maipas und Nicolopoulou-Stamati (2015) ist nanopartikuläres Zinkoxid toxisch für Seeigel im Mikrogramm pro Liter-Bereich und verzögert bei Zebrafi-

schen den Schlupf bei Konzentrationen im Milligramm pro Liter-Bereich. Die genauen Wirkweisen und Auswirkungen in den verschiedenen Organismen sind jedoch teilweise noch nicht genau erforscht.

VERWENDUNG, EINTRAG UND VORKOMMEN IN DER UMWELT

Die Produktion von organisch-chemischen UV-Filtern ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, und dieser Trend wird sich voraussichtlich fortsetzen. UV-Filter werden nicht nur in Sonnencremes, sondern auch in anderen Körperpflegeprodukten, wie Shampoos und Gesichtscremes, eingesetzt. Außerdem finden sie zum Beispiel Verwendung in Verpackungsmaterial und Plastikprodukten.

Es gibt zwei Wege, auf denen UV-Filter vom Körper in die Umwelt (Gewässer und Sedimente, über weitere Wege auch den Boden) gelangen: einerseits direkt, bei Freizeitaktivitäten, wie zum Beispiel Schwimmen, andererseits indirekt über die Kläranlage, nach der Freisetzung der UV-Filter zum Beispiel beim Duschen, in der Waschmaschine oder durch menschliche Ausscheidungen (Ao et al. 2018; Li et al. 2007; Ramos et al. 2016).

Organische UV-Filter haben aromatische Molekülstrukturen, die oft hydrophobe Gruppen aufweisen. Die meisten UV-Filter sind daher sehr lipophil (leicht fettlöslich) (Li et al. 2007). Dadurch, verbunden mit einer meist geringen Bioabbaubarkeit, sind UV-Filter hauptsächlich im Klärschlamm der Kläranlage zu finden. Es findet hier jedoch kein vollständiger Abbau durch Mikroorganismen und keine vollständige Entfernung von UV-Filtern über die Bindung an den Klärschlamm statt. So können die Substanzen durch den Kläranlagenablauf in Gewässer gelangen. Dies stellt in manchen Fällen den Haupteintragspfad in die Umwelt dar (Fent et al. 2010; Gago-Ferrero et al. 2011; Li et al. 2007). Durch den kontinuierlichen und hohen Einsatz von UV-Filtern sind auch Substanzen, welche prinzipiell leicht biologisch

abbaubar sind, im Kläranlagenablauf zu finden und in der Umwelt omnipräsent (Groz et al. 2014; Ramos et al. 2016).

Organische UV-Filter werden weltweit in Flüssen, Seen und Küstengewässern gefunden (Kameda et al. 2011; Poiger et al. 2004; Sang, Leung 2016; Tsui et al. 2014). Auch im Arktischen Ozean sind sie nachweisbar. Des Weiteren sind chemische UV-Filter im Boden und in Sedimenten zu finden (Sánchez-Brunete et al. 2011). Darüber hinaus werden organische UV-Filter in marinen Organismen nachgewiesen, zum Beispiel in Muscheln und Fischen der Mittelmeerküste (Bachelot et al. 2012; Cunha et al. 2018), in Fischen aus Schweizer Seen (Balmer et al. 2005), in Muscheln in der Chesapeake Bay in den USA (He et al. 2019) und in Muscheln und Fischen in Aquakulturen an der Küste von Hongkong (Sang, Leung 2016). Einige der organischen UV-Filter, wie zum Beispiel BP-3, bioakkumulieren, das heißt sie reichern sich über die Zeit im Organismus an (Kim, Choi 2014). Dies konnte für einige UV-Filter in Korallen, Tintenfischen, Garnelen und Fischen nachgewiesen werden (Peng et al. 2017; Tsui et al. 2017). Weiterhin wird für manche UV-Filter auch der Effekt der Biomagnifikation beobachtet, das heißt es findet eine zunehmende Anreicherung der Substanzen in der Nahrungskette statt (Tovar-Sánchez et al. 2019). So finden sich organische UV-Filter auch in Delphinen in Brasilien oder Kormoranen in der Schweiz – und auch in nicht geschlüpften Eiern mehrerer Vogelarten in Spanien, insbesondere beim Weißstorch und der Rohrweihe, die die höchsten Konzentrationen aufwiesen (Fent et al. 2010; Gago-Ferrero et al. 2013; Molins-Delgado et al. 2017).

REGULIERUNG VON UV-FILTERN IN DER EU

Die Verwendung von UV-Filtern in Kosmetika wird über die EU-Kosmetikverordnung geregelt (Verordnung (EG) Nr. 1223/2009). Die Sicherheit von Kosmetikinhaltsstoffen für Verbraucherinnen und Verbraucher wird da-

bei von einem wissenschaftlichen Gremium, dem „Scientific Committee on Consumer Safety“ (SCCS) geprüft. Stoffe, die in Kosmetika eingesetzt werden dürfen, werden nach dieser Prüfung in Bezug auf die menschliche Gesundheit auf eine Positiv-Liste gesetzt. Auf dieser Liste der zugelassenen Substanzen in der EU stehen momentan 30 UV-Filtersubstanzen. Darunter sind auch die mineralischen UV-Filter Titandioxid und Zinkoxid. Nach einer Revision der Positiv-Liste hat die EU-Kommission eine separate Liste von 28 UV-Filtern erstellt, für die ein Verdacht auf eine endokrine Wirkung im Menschen besteht (https://ec.europa.eu/growth/content/call-data-ingredients-potential-endocrine-disrupting-properties-used-cosmetic-products_en). Vierzehn dieser Stoffe sind jetzt priorisiert worden, darunter zum Beispiel das oben genannte 4-MBC (4-Methylbenzyliden-campher, auch Enzacamen genannt). Diese werden in den nächsten zwei Jahren durch das SCCS noch einmal anhand aller aktuell verfügbaren Studien auf ihre hormonschädigende Wirkung im Menschen bewertet.

Die Umweltbewertung von UV-Filtern findet, wie oben kurz beschrieben, im Rahmen der REACH-Verordnung statt. Wenn für einen Stoff auf Grundlage von vorhandenen Daten die Besorgnis besteht, dass er schädliche Auswirkungen auf die Umwelt haben könnte, jedoch zu wenig Informationen vorhanden sind, um dies genau beurteilen zu können, dann können die Mitgliedstaaten unter REACH eine sogenannte Stoffbewertung durchführen. Hier können dann spezifische Studien zum Beispiel zur endokrinen Wirkung von den Herstellern oder Importeuren gefordert werden. Für Deutschland übernimmt das UBA die Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt.

Im Fokus der Besorgnis stehen dabei mögliche endokrine Effekte und weitere toxische Wirkungen auf Umweltorganismen wie Fische und Amphibien sowie die Persistenz (geringe Abbaubarkeit) der Stoffe in der Umwelt und ihr Potenzial, sich in Organismen anreichern zu können. Solche Chemikalien können nach erfolgter Bewertung auch als

Substanzen mit besonderer Besorgnis „Substances of Very High Concern (SVHC)“ identifiziert werden. Die Aufgabe des UBA ist es, solche Stoffe zu identifizieren und dann geeignete Risikominderungsmaßnahmen auf EU-Ebene zu initiieren, mit denen der Eintrag solcher Substanzen in die Umwelt vermieden oder wenigstens minimiert werden kann. Folgende Stoffe und Stoffgruppen sind dabei aktuell im Fokus der Regulatoren:

Octylmethoxycinnamat (OMC), auch Octinoxat oder 2-ethylhexyl-4-methoxycinnamat (EHMC) genannt, gehört zur Gruppe der Cinnamatderivate. OMC ist einer der am häufigsten verwendeten UV-B-Filter in Sonnenschutzmitteln. OMC zeigt in *in vitro*-Tests Hinweise auf eine mögliche östrogene, anti-androgene, anti-progestagene und anti-thyroidale Wirkweise (Lorigo et al. 2018). Auch für andere Vertreter dieser Gruppe, welche als UV-Filter verwendet werden, konnten endokrine Aktivitäten *in vitro* beobachtet werden. Es liegen allerdings bisher keine Daten vor, ob diese auch zu schädlichen und populationsrelevanten Effekten in der Umwelt führen (Wang et al. 2016).

Eine weitere Gruppe mit endokrin wirksamen Vertretern, die als UV-Filter verwendet werden, sind die Benzophenone, denen zum Beispiel das Oxybenzon zugeordnet werden kann. In *in vitro*-Versuchen zeigten verschiedene Benzophenone eine Bindung an den Östrogenrezeptor, den Androgenrezeptor, den Progesteronrezeptor und weitere Rezeptoren in den Zellkernen. Weiterhin verursachte Oxybenzon in Versuchen mit Fischen einen Anstieg des Proteins Vitellogenin, eines Biomarkers für östrogen wirksame Substanzen, sowie eine reduzierte Schlupfrate (Coronado et al. 2008; Wang et al. 2016).

Die dritte Gruppe der Campherderivate, zu denen auch das 4-MBC gehört, zeigte in *in vitro*-Studien Effekte auf den Östrogen- sowie den Progesteronrezeptor. Auch Effekte auf den Androgenrezeptor und auf die Konzentrationen von Schilddrüsenhormonen wurden beobachtet. 4-MBC zeigt Biomarker-Reaktionen, die auf eine mögliche Störung der Reproduktion, der sexuellen Entwicklung

oder der neuronalen Entwicklung hindeuten (Quintaneiro et al. 2019; Schmutzler et al. 2007; Wang et al. 2016).

Es gibt auch UV-Filter, die nicht den drei genannten Stoffgruppen zuzuordnen sind, die aber auch endokrine Aktivitäten in Versuchen zeigten. Ein Beispiel dafür ist das Homosalat, das zu der Gruppe der Salicylsäureester gehört. Homosalat zeigte bei in vitro-Tests zum Beispiel anti-androgene und östrogene Effekte (Schreurs et al. 2004).

Deutschland bewertet derzeit zusammen mit den anderen EU-Mitgliedstaaten mehrere Stoffe in Stoffbewertungen. Im Folgenden sind beispielhaft UV-Filter und Gruppen von UV-Filtersubstanzen genannt, für die gerade eine solche Prüfung auf ihre endokrinen Eigenschaften in der Umwelt auf EU-Ebene läuft:

- Der Stoff **Octocrylene** befindet sich aktuell in der Bewertung durch Frankreich. Hier wurden von den Herstellern Daten gefordert, die eine Schlussfolgerung zu den persistenten, bioakkumulierenden und toxischen Eigenschaften sowie zu den endokrinen Wirkungen in der Umwelt erlauben sollen. Ein Ergebnis steht noch aus, da noch nicht alle geforderten Studien vorliegen und abschließend bewertet wurden.
- Die Substanz **4-Methylbenzylidenecamphor** (Enzacamen) befindet sich ebenfalls aktuell noch in der Bewertung. Hier ist das UBA die federführende Stelle der Bewertung und prüft gerade, welche Studien noch nötig sein könnten, um über die endokrinen Eigenschaften von 4-MBC in der Umwelt entscheiden zu können.
- Für die beiden **Cinnamatderivate OMC** (2-Ethylhexyl trans-4-methoxycinnamate) und **IPMC** (Isopentyl p-methoxycinnamate) liegen jetzt die geforderten Studien vor. Deutschland wertet diese aktuell aus und prüft, ob diese Stoffe im Menschen und/oder der Umwelt endokrin wirksam sind. Auch hier ist das UBA für die Umweltbewertung verantwortlich.

○ Für die Stoffgruppe der **Parabene** (z. B. Butylparaben) liegen ebenfalls Daten vor, die gerade von mehreren Mitgliedstaaten bewertet werden und die eine Schlussfolgerung zu den endokrinen Eigenschaften dieser Substanzen erlauben. Da es hier mehrere Stoffe gibt, die eine ähnliche chemische Struktur aufweisen, sollen diese als Stoffgruppe bewertet und bei Bedarf auch reguliert werden.

○ Ähnlich ist es auch bei der Stoffgruppe der **Benzophenone**. Ein Vertreter dieser Gruppe, das Oxybenzone, befindet sich derzeit in einer Stoffbewertung durch Dänemark. Auch hier liegen noch nicht alle Studien vor, um eine abschließende Bewertung des Gefahrenpotenzials für diesen Stoff vornehmen zu können. Auch weitere Substanzen aus der Gruppe der Benzophenone stehen im Verdacht, endokrin wirksam zu sein. Hier arbeitet das UBA an einer Strategie mit, wie diese Besorgnis auf EU-Ebene am besten geklärt werden kann.

Um die Stoffe möglichst effizient zu bewerten und auch Stoffe mit ähnlicher Besorgnis schnell zu finden, werden mehr und mehr Gruppen von Stoffen betrachtet. Dies kann auch dabei helfen, mögliche chemische Alternativen frühzeitig im Blick zu haben und auch diese bewerten zu können. Dies ist ein wichtiger Teil der regulatorischen Strategie von Chemikalien in der Umwelt, da nur so verhindert werden kann, dass eine „regrettable substitution“, also der Ersatz von problematischen Stoffen durch ähnlich besorgniserregende Stoffe, stattfindet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für viele der gängigsten UV-Filtersubstanzen (chemische und mineralische Filter) in Kosmetika eine Umweltbesorgnis besteht, die gerade in mehreren Verfahren geprüft wird. Diese Besorgnis basiert hauptsächlich auf den möglichen endokrinen Effekten in Umweltorganismen sowie auf persistenten und bioakkumulierenden Eigenschaften. Bestätigen sich diese Besorgnisse, so bietet die EU-Chemikalienverordnung REACH Instru-

mente, um die Verwendung und den Eintrag der Stoffe in die Umwelt zu minimieren. Risiken für Verbraucherinnen und Verbraucher können über die EU-Kosmetikverordnung adressiert werden.

Anders als bei dem beobachteten Korallensterben vor Hawaii, hat das UBA aktuell keine Hinweise darauf, dass Korallen in der Nordsee, Fisch- oder Amphibienpopulationen in Deutschland oder Europa akut durch UV-Filter aus Sonnenschutzmitteln bedroht sind. Trotzdem können längerfristige Effekte auftreten. Um negative Auswirkungen zu vermeiden, muss aus Sicht des UBA deshalb vorsorglich gehandelt werden, wenn für bestimmte UV-Filtersubstanzen eine Umweltbesorgnis bestätigt werden kann.

TIPPS FÜR VERBRAUCHERINNEN UND VERBRAUCHER

Die beschriebene Umweltbesorgnis hinsichtlich einiger UV-Filtersubstanzen kann zu einem Zielkonflikt führen, in dem sich der Gesundheitsschutz und der Umweltschutz diametral gegenüberstehen. Der Schutz der menschlichen Gesundheit und die Vermeidung der Bildung von Hautkrebs durch UV-Strahlung hat dabei hohe Priorität. Deshalb ist auch der Einsatz von UV-Filtern in Kosmetika und Sonnencremes notwendig.

Durch einfache Maßnahmen können Verbraucherinnen und Verbraucher den Umwelteintrag von UV-Filtern verringern und so diesen Zielkonflikt entschärfen. Das UBA empfiehlt deshalb folgende Maßnahmen, die sowohl die Gesundheit als auch die Umwelt schützen:

- Bewusstes Sonnenbad in den Nachmittags- und frühen Abendstunden umgeht die UV-Last und reduziert die benötigte Menge an Sonnencreme.
- Aufenthalt im Schatten und leichte langärmelige Kleidung oder das Nutzen von Sonnenschirmen und Kopfbedeckungen

reduzieren ebenfalls den Bedarf an Sonnenschutzmitteln bei Aktivitäten im Freien.

- Duschen sollte man erst zu Hause, um einen direkten Eintrag von UV-Filtern in das Meer, Flüsse oder Seen zu vermeiden. Denn das Duschwasser durchläuft eine Kläranlage, in der die UV-Filtersubstanzen zumindest teilweise abgebaut und gebunden werden können.

Zusätzlich kann auch auf mineralische Filter (in Nicht-Nanofom) zurückgegriffen werden, die unbedenklicher erscheinen. ●

LITERATUR

Ao J, Yuan T, Gu J et al. (2018): Organic UV filters in indoor dust and human urine: A study of characteristics, sources, associations and human exposure. *Science of the Total Environment* 640–641: 1157–1164. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.367.

Bachelot M, Li Z, Munaron D et al. (2012): Organic UV filter concentrations in marine mussels from French coastal regions. *Science of the Total Environment* 420: 273–279. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.12.051.

Balmer ME, Buser HR, Müller MD et al. (2005): Occurrence of some organic UV filters in wastewater, in surface waters, and in fish from Swiss lakes. *Environmental Science & Technology* 39 (4): 953–962.

Coronado M, De Haro H, Deng X et al. (2008): Estrogenic activity and reproductive effects of the UV-filter oxybenzone (2-hydroxy-4-methoxyphenyl-methanone) in fish. *Aquat Toxicol* 90 (3): 182–187. DOI: 10.1016/j.aquatox.2008.08.018.

Cunha S, Trabalón L, Jacobs S et al. (2018): UV-filters and musk fragrances in seafood commercialized in Europe Union: Occurrence, risk and exposure assessment. *Environ Res* 161: 399–408.

Fent K, Zenker A, Rapp M (2010): Widespread occurrence of estrogenic UV-filters in aquatic ecosystems in Switzerland. *Environmental Pollution* 158 (5): 1817–1824.

Gago-Ferrero P, Alonso MB, Bertozzi CP et al. (2013): First determination of UV filters in marine mammals. Octocrylene levels in Franciscana dolphins. *Environmental Science & Technology* 47 (11): 5619–5625.

Gago-Ferrero P, Díaz-Cruz MS, Barceló D (2011): Occurrence of multiclass UV filters in treated sewage sludge from wastewater treatment plants. *Chemosphere* 84 (8): 1158–1165.

- Groz MP, Bueno MM, Rosain D et al. (2014): Detection of emerging contaminants (UV filters, UV stabilizers and musks) in marine mussels from Portuguese coast by QuEChERS extraction and GC-MS/MS. *Science of the Total Environment* 493: 162–169.
- He K, Hain E, Timm A et al. (2019): Occurrence of antibiotics, estrogenic hormones, and UV-filters in water, sediment, and oyster tissue from the Chesapeake Bay. *Science of the Total Environment* 650: 3101–3109.
- Kameda Y, Kimura K, Miyazaki M (2011): Occurrence and profiles of organic sun-blocking agents in surface waters and sediments in Japanese rivers and lakes. *Environmental Pollution* 159 (6): 1570–1576.
- Khetan SK (2014): *Endocrine disruptors in the environment*. John Wiley & Sons. ISBN: 1118891155.
- Kim S, Choi K (2014): Occurrences, toxicities, and ecological risks of benzophenone-3, a common component of organic sunscreen products: a mini-review. *Environ Int* 70: 143–157.
- Li W, Ma Y, Guo C et al. (2007): Occurrence and behavior of four of the most used sunscreen UV filters in a wastewater reclamation plant. *Water Research* 41 (15): 3506–3512.
- Lorigo M, Mariana M, Cairrao E (2018): Photoprotection of ultraviolet-B filters: Updated review of endocrine disrupting properties. *Steroids* 131: 46–58.
- Molins-Delgado D, Máñez M, Andreu A et al. (2017): A potential new threat to wild life: presence of UV filters in bird eggs from a preserved area. *Environmental Science & Technology* 51 (19): 10983–10990.
- Peng X, Fan Y, Jin J et al. (2017): Bioaccumulation and biomagnification of ultraviolet absorbents in marine wildlife of the Pearl River Estuarine, South China Sea. *Environmental Pollution* 225: 55–65.
- Poiger T, Buser HR, Balmer ME et al. (2004): Occurrence of UV filter compounds from sunscreens in surface waters: regional mass balance in two Swiss lakes. *Chemosphere* 55 (7): 951–963.
- Quintaneiro C, Teixeira B, Benedé JL et al. (2019): Toxicity effects of the organic UV-filter 4-Methylbenzylidene camphor in zebrafish embryos. *Chemosphere* 218: 273–281.
- Ramos S, Homem V, Alves A et al. (2016): A review of organic UV-filters in wastewater treatment plants. *Environ Int* 86: 24–44.
- Sánchez-Brunete C, Miguel E, Albero B et al. (2011): Analysis of salicylate and benzophenone-type UV filters in soils and sediments by simultaneous extraction cleanup and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1218 (28): 4291–4298.
- Sang Z, Leung KS-Y (2016): Environmental occurrence and ecological risk assessment of organic UV filters in marine organisms from Hong Kong coastal waters. *Science of the Total Environment* 566: 489–498.
- Schmutzler C, Gotthardt I, Hofmann PJ et al. (2007): Endocrine disruptors and the thyroid gland—a combined in vitro and in vivo analysis of potential new biomarkers. *Environ Health Perspect* 115 Suppl 1: 77–83. DOI: 10.1289/ehp.9369.
- Schreurs RH, Sonneveld E, Jansen JH et al. (2004): Interaction of polycyclic musks and UV filters with the estrogen receptor (ER), androgen receptor (AR), and progesterone receptor (PR) in reporter gene bioassays. *Toxicological Sciences* 83 (2): 264–272.
- Tovar-Sánchez A, Sánchez-Quiles D, Rodríguez-Romero A (2019): Massive coastal tourism influx to the Mediterranean Sea: The environmental risk of sunscreens. *Science of the Total Environment* 656: 316–321.
- Tsui MM, Lam JC, Ng T et al. (2017): Occurrence, distribution, and fate of organic UV filters in coral communities. *Environmental Science & Technology* 51 (8): 4182–4190.
- Tsui MM, Leung H, Wai TC et al. (2014): Occurrence, distribution and ecological risk assessment of multiple classes of UV filters in surface waters from different countries. *Water Research* 67: 55–65.
- Wang J, Pan L, Wu S et al. (2016): Recent advances on endocrine disrupting effects of UV filters. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13 (8): 782.

KONTAKT

Jürgen Arning
Umweltbundesamt
Fachgebiet IV 2.3 „Chemikalien“
Wörlitzer Platz
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: juergen.arning[at]uba.de

[UBA]