



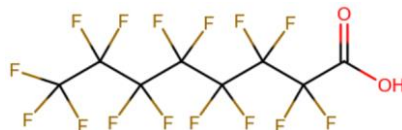
Juli 2020

Gesundheitliche Gefahren durch per- und polyfluorierte Alkylverbindungen in Skiwachs

Um die Gleiteigenschaften auf der Schneeunterlage zu verbessern, werden Langlaufskis, Alpinskis und Snowboards mit Wachsen behandelt. Oft werden die Wachspunkte angewendet, ohne sich dem Gesundheitsrisiko durch die eingeatmeten Dämpfe und Rauch bewusst zu sein. Beim Erhitzen oder Aufsprühen der Wachse entweichen eine Vielzahl von Chemikalien und können über die Atemwege in den Körper gelangen. Insbesondere per- und polyfluorierte Alkylverbindungen reichern sich im Körper an und können sich langfristig negativ auf die Gesundheit auswirken.

Inhaltsstoffe von Skiwachs

Um die Gleiteigenschaften von Langlaufskis, Skis und Snowboards auf Schnee zu verbessern, gibt es eine Vielzahl verschiedener Schneesportwachse. Insbesondere die Gleitwachse reduzieren den Widerstand zwischen dem Belag des Schneesportgerätes und dem Schnee. Um bei verschiedenen Schnee- und Umweltbedingungen ein optimales Gleiten zu ermöglichen, besitzen Skiwachse unterschiedliche chemische Zusammensetzungen. Die genauen chemischen Inhaltsstoffe der Wachse werden von den Herstellern aufgrund von Geschäftsgeheimnissen oft nur unvollständig angegeben. Ein wichtiger Bestandteil der Wachse sind langkettige Kohlenwasserstoffmoleküle aus Erdöl. Nebst Paraffinen, werden oft synthetisch hergestellt Fluorkohlenstoffverbindungen verwendet, sogenannte per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS, englischer Begriff «*per- and polyfluoroalkyl substances*»). In Schneesportwachsen werden insbesondere PFAS mit einer Länge von 4–25 Kohlenstoffatomen verwendet (C₄–C₂₅).



Die Perfluorooctansäure (PFOA, C₈) gehört beispielsweise zu den PFAS

Infobox: Toxikologie der per- und polyfluorierten Alkylverbindungen

Bei den PFAS handelt es sich um Kohlenwasserstoffverbindungen, bei welchen die Wasserstoffatome an Kohlenstoffketten vollständig oder teilweise durch Fluoratome (F) ersetzt sind. Heutzutage gibt es über 4'700 verschiedene solcher PFAS, welche eine hohe chemische und thermische Stabilität haben.

Das Anwendungsspektrum dieser Stoffe ist deshalb sehr breit. Nebst Skiwachs werden sie aufgrund ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften auch in antihafbeschichteten Pfannen, in atmungsaktiver Regenschutzbekleidung und Feuerlöschschaum verwendet.

Die Kohlenstoff-Fluor Bindung ist eine der stabilsten bekannten chemischen Bindungen. Die schlechte Abbaubarkeit dieser Verbindungen in Kombination mit dem kontinuierlichen Eintrag, führen zur Akkumulation von PFAS in der Umwelt und in Lebewesen. Sie werden deshalb auch als «forever chemicals» bezeichnet. So werden diese Stoffe in Nahrungsmitteln und Trinkwasser nachgewiesen, sowie auch an entlegenen Orten in der Welt, dort beispielsweise in Fischen, Seehunden und Polarbären (Smithwick et al. 2005; Bossi et al. 2005). PFAS werden generell schnell in den Organismus aufgenommen, vor allem über den Darm und die Atemwege, sind plazentagängig und gelangen in die Muttermilch. Da PFAS kaum vom menschlichen Organismus abgebaut und ausgeschieden werden, akkumulieren PFAS im Körper, insbesondere im Blutserum, der Niere und der Leber.

Exposition gegenüber PFAS:

Die häufigsten Quellen von PFAS für den Menschen sind die Nahrungsmittel, Trinkwasser und die Inhalation von Staub (Trudel et al. 2008; Vestergren und Cousins 2009; Picó et al. 2011; Kato et al. 2009; Sunderland et al. 2019).

Weltweit können PFAS in Menschen gefunden werden, so konnten bei über 98% der amerikanischen Bevölkerung PFAS im Körper nachgewiesen werden (Calafat et al. 2007). Nebst dieser Grundbelastung, kann die Verwendung von fluorhaltigen Wachsprodukten eine wesentliche PFAS Quelle darstellen für den Menschen. Damit die Heisswachse gleichmäßig auf der Gleitfläche aufgetragen werden können, müssen sie erhitzt werden, wobei eine grosse Menge Nebel und teilweise auch Rauch generiert wird. Die in die Luft freigesetzten PFAS werden über die Atemwege in grosser Menge in den Körper aufgenommen (Nilsson et al. 2010a, 2013). Auch durch den Gebrauch von sprühbaren Wachsprodukten oder Abriebarbeiten können PFAS in den Körper gelangen.

Toxikologie der PFAS:

Mittels Tierstudien und epidemiologischen Daten von Menschen, können verschiedene gesundheitliche Probleme in Zusammenhang mit PFAS gebracht werden.

Akut auftretende Symptome nach Wachsarbeiten können Augen- und Atemwegreizungen, sowie eine verminderte Lungenfunktion sein (Bracco und Favre 1998; Dahlqvist et al. 1992).

Die meisten gesundheitlichen Folgen durch PFAS-Expositionen treten jedoch erst nach längerer Zeit auf. Erhöhte PFAS Konzentrationen im Blut stehen im Zusammenhang mit einem

veränderten Lipidstoffwechsel, so fand man bei PFAS exponierten Menschen einen erhöhten Gesamtcholesterolwert (Nelson et al. 2010). Es wurden negative Effekte in der Schilddrüsenfunktion, im Hormonhaushalt und in der Entwicklung des Menschen gefunden. Beispielsweise können erhöhte PFAS-Blutkonzentrationen bei der Mutter zu einem geringeren Geburtsgewicht bei Neugeborenen führen sowie den Zeitpunkt des Einsetzens der Pubertät beeinflussen (Apelberg et al. 2007; Lopez-Espinosa et al. 2011; Pinney et al. 2009; White et al. 2011; Ernst et al. 2019). Die beiden PFAS, PFOA (Perfluorooctansäure) und PFOS (Perfluorooctansulfonsäure), gelten als immuntoxikologisch, da sie im Kindesalter erwiesenermaßen die humorale Immunantwort beeinträchtigen (Grandjean et al. 2012; Yang et al. 2001). Die internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer (IARC)) klassiert PFOA und PFOS als «mögliche Humankarzinogene». PFOA und einige weitere PFAS sind aufgrund ihrer persistenten, bioakkumulierbaren und toxischen Eigenschaften als besonders besorgniserregenden Stoffe (Substance of Very High Concern sogenannte SVHC-Stoffe) identifiziert worden (Anh. 3 ChemV).

Risiko durch PFAS:

Nebst einer vorhandenen toxikologischen Gefahr, benötigt es für eine gesundheitliche Risikoabschätzung eine Expositionsanalyse, beispielsweise durch den Nachweis der Chemikalie im Blut. Momentan liegen keine PFAS-Blutwerte der Schweizer Bevölkerung vor, jedoch werden solche Daten im Rahmen eines anlaufenden Biomonitoring-Projektes erhoben ([Schweizer Gesundheitsstudie](#)).

Bei Messungen von 158 Blutproben bei Menschen aus München im Jahr 2016, wurden durchschnittlich (Median) 1,1 ng/ml PFOA und 2,1 ng/ml PFOS festgestellt (Fromme et al. 2017) und in einer Erhebung im Jahr 2013–2014 in den USA wurden durchschnittlich 1,94 ng/ml PFOA und 4,99 ng/ml PFOS gefunden (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 2018). Beruflich bedingte Expositionen, wie beispielsweise bei Skitechniker, können zu hohen PFAS Konzentrationen im Körper führen. So wurden in einer Studie durchschnittlich 112 ng/ml (Median) PFOA im Blut von Skiwachstechnikern gefunden (Nilsson et al. 2010b).

Für die Beurteilung der gemessenen PFAS-Blutwerte und die Einschätzung eines gesundheitlichen Risikos, werden sogenannte Human-Biomonitoring (HBM)-Werte herangezogen. Diese HBM-Werte sind von wissenschaftlichen Studien abgeleitete Beurteilungswerte. Für den Stoff PFOA liegt der HBM-I-Wert bei 2 ng/ml und für PFOS bei 5 ng/ml (Umweltbundesamt 2018). Liegen ermittelte Blutwerte unterhalb dieses HBM-I-Wertes, gibt es nach aktuellem Wissenstand keine verlässlichen Belege für eine Gefährdung der Gesundheit. Bei einer Überschreitung des HBM-I-Wertes, sollte nach einer bestätigten Messung, die Ursache eruiert werden, sowie Belastungsquellen gemindert oder eliminiert werden.

Vorsichtsmassnahmen:

Aufgrund bereits verbotener Verbindungen, verwenden einige Skiwachsproduzenten noch nicht regulierte PFAS für ihre Produkte, wie beispielsweise kurzkettigere Fluorverbindungen

(sogenannte C₆-Verbindungen), jedoch stellen auch diese PFAS eine Gefahr für die Gesundheit und Umwelt dar. Die effektivste Massnahme um mögliche Expositionen zu vermeiden, ist deshalb die Verwendung von Skiwachs ohne fluoridierte Verbindungen.

Falls trotzdem PFAS haltige Produkte verwendet werden, müssen in jedem Fall die vom Hersteller angegebenen Sicherheits- und Gebrauchshinweise beachtet und befolgt werden. Eine der wichtigsten Massnahmen ist eine sehr gute Durchlüftung des gewählten Arbeitsraumes, damit sich die giftigen Dämpfe nicht im Raum sammeln. Lagern Sie die Produkte ausserhalb der Reichweite von Kindern (Aufbewahrung höher als 160 cm und in abgeschlossenen Schränken), sowie entsorgen Sie die PFAS-haltige Wachse nicht via Kehrrichtsack, sondern geben Sie die Wachse an Sammelstellen oder Entsorgungshöfen ab.

Fazit:

- Die Verwendung von fluoridierten Skiwachsen, kann zur Aufnahme von PFAS in den Körper führen, insbesondere über die Atemwege.
- PFAS akkumulieren im Organismus und verbleiben über Jahre im Körper.
- Die langfristigen gesundheitlichen Gefahren durch PFAS sind noch nicht ausreichend charakterisiert; bereits heute ist unbestritten, dass sie einen negativen Einfluss auf den Cholesterolverwert, das Immunsystem und die menschliche Entwicklung haben können.
- Nebst den gesundheitlichen Risiken, tragen PFAS zur Verschmutzung der Umwelt bei, da diese Stoffe nicht abgebaut werden und sich teilweise in der Nahrungskette anreichern.
- Vermeidung unnötiger PFAS Exposition durch die Verwendung PFAS-freier Skiwachse. PFAS-haltige Skiwachse/Skiwachsreste müssen via Sammelstellen oder Entsorgungshöfen entsorgt werden.



Weitere Informationen

Regulierung von PFAS:

SVHC:

[Anhang 3](#) der Chemikalienverordnung enthält die Liste der besonders besorgniserregender Stoffe, wobei auch einige PFAS dort gelistet sind. Wer Gegenstände mit mehr als 0.1% Gewichtsprozent eines Anhang 3 gelisteten Stoffes abgibt, muss die Abnehmer über das Vorhandensein und über die Massnahmen zur sicheren Verwendung informieren. Wobei gilt, dass beruflich und gewerbliche Abnehmer unaufgefordert zu informieren sind, und private Anwender auf Verlangen innerhalb 45 Tagen.

Verbote:

In der Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, [ChemRRV](#)) sind einige per- und polyfluorierte Akyilverbindungen geregelt. In der Schweiz bereits verboten sind die Perfluorooctansulfonsäure und ihre Derivate (PFOS, Summenformel $C_8F_{17}SO_2X$). Ab dem 01.06.2021, sind grundsätzlich auch Perfluorooctansäure und Vorläuferverbindungen verboten (gemäss Definition in Anh. 1.16 Ziff. 2.1 ChemRRV) (Für detaillierte [Informationen](#)).

PFOS, PFOA und ihre Vorläuferverbindungen sind zudem auf globaler Ebene unter dem Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe geregelt.

Die Fédération Internationale de Ski (FIS) hat die Verwendung von Fluorverbindungen im Spitzensport ab der Wintersaison 2020/2021 verboten.

Für weitere Auskünfte:

Bundesamt für Gesundheit:

Abteilung Chemikalien, Schwarzenburgstrasse 157, 3003 Bern, Tel. +41 58 462 96 40, bag-chem@bag.admin.ch, www.bag.admin.ch/chemikalien



Literaturverzeichnis

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2018): Toxicological profile for Perfluoroalkyls. Hg. v. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA.

Apelberg, Benjamin J.; Witter, Frank R.; Herbstman, Julie B.; Calafat, Antonia M.; Halden, Rolf U.; Needham, Larry L.; Goldman, Lynn R. (2007): Cord serum concentrations of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in relation to weight and size at birth. In: *Environmental health perspectives* 115 (11), S. 1670–1676. DOI: 10.1289/ehp.10334.

Bracco, David; Favre, Jean-Baptiste (1998): Pulmonary Injury After Ski Wax Inhalation Exposure. In: *Annals of Emergency Medicine* 32 (5), S. 616–619. DOI: 10.1016/S0196-0644(98)70043-5.

Calafat, Antonia M.; Wong, Lee-Yang; Kuklenyik, Zsuzsanna; Reidy, John A.; Needham, Larry L. (2007): Polyfluoroalkyl chemicals in the U.S. population: data from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2003-2004 and comparisons with NHANES 1999-2000. In: *Environmental health perspectives* 115 (11), S. 1596–1602. DOI: 10.1289/ehp.10598.

Dahlqvist, M.; Alexandersson, R.; Andersson, B.; Andersson, K.; Kolmodin-Hedman, B.; Malker, H. (1992): Exposure to Ski-Wax Smoke and Health Effects in Ski Waxers. In: *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 7 (10), S. 689–693. DOI: 10.1080/1047322X.1992.10388070.

Ernst, Andreas; Brix, Nis; Lauridsen, Lea Lykke Braskhøj; Olsen, Jørn; Parner, Erik Thorup; Liew, Zeyan et al. (2019): Exposure to Perfluoroalkyl Substances during Fetal Life and Pubertal Development in Boys and Girls from the Danish National Birth Cohort. In: *Environmental health perspectives* 127 (1), S. 17004. DOI: 10.1289/EHP3567.

Fromme, Hermann; Wöckner, Mandy; Roscher, Eike; Völkel, Wolfgang (2017): ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. In: *International journal of hygiene and environmental health* 220 (2 Pt B), S. 455–460. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.12.014.

Grandjean, Philippe; Andersen, Elisabeth Wreford; Budtz-Jørgensen, Esben; Nielsen, Flemming; Mølbak, Kåre; Weihe, Pal; Heilmann, Carsten (2012): Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. In: *JAMA* 307 (4), S. 391–397. DOI: 10.1001/jama.2011.2034.

Kato, Kayoko; Calafat, Antonia M.; Needham, Larry L. (2009): Polyfluoroalkyl chemicals in house dust. In: *Environmental research* 109 (5), S. 518–523. DOI: 10.1016/j.envres.2009.01.005.

Lopez-Espinosa, Maria-Jose; Fletcher, Tony; Armstrong, Ben; Genser, Bernd; Dhatariya, Ketan; Mondal, Debapriya et al. (2011): Association of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) with age of puberty among children living near a chemical plant. In: *Environmental science & technology* 45 (19), S. 8160–8166. DOI: 10.1021/es1038694.

Nelson, Jessica W.; Hatch, Elizabeth E.; Webster, Thomas F. (2010): Exposure to polyfluoroalkyl chemicals and cholesterol, body weight, and insulin resistance in the general U.S. population. In: *Environmental health perspectives* 118 (2), S. 197–202. DOI: 10.1289/ehp.0901165.

Nilsson, Helena; Kärrman, Anna; Rotander, Anna; van Bavel, Bert; Lindström, Gunilla; Westberg, Håkan (2010a): Inhalation exposure to fluorotelomer alcohols yield perfluorocarboxylates in human blood? In: *Environmental science & technology* 44 (19), S. 7717–7722. DOI: 10.1021/es101951t.

Nilsson, Helena; Kärrman, Anna; Rotander, Anna; van Bavel, Bert; Lindström, Gunilla; Westberg, Håkan (2013): Professional ski waxers' exposure to PFAS and aerosol concentrations in gas phase and different particle size fractions. In: *Environmental science. Processes & impacts* 15 (4), S. 814–822. DOI: 10.1039/c3em30739e.

- Nilsson, Helena; Kärrman, Anna; Westberg, Håkan; Rotander, Anna; van Bavel, Bert; Lindström, Gunilla (2010b): A time trend study of significantly elevated perfluorocarboxylate levels in humans after using fluorinated ski wax. In: *Environmental science & technology* 44 (6), S. 2150–2155. DOI: 10.1021/es9034733.
- Picó, Yolanda; Farré, Marinella; Llorca, Marta; Barceló, Damià (2011): Perfluorinated compounds in food: a global perspective. In: *Critical reviews in food science and nutrition* 51 (7), S. 605–625. DOI: 10.1080/10408391003721727.
- Pinney, Susan M.; Windham, Gayle C.; Biro, Frank M.; Kushi, Larry H.; Yaghjian, Lusine; Calafat, Antonia et al. (2009): Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Pubertal Maturation in Young Girls. In: *Epidemiology* 20, S80. DOI: 10.1097/01.ede.0000362949.30847.cb.
- Sunderland, Elsie M.; Hu, Xindi C.; Dassuncao, Clifton; Tokranov, Andrea K.; Wagner, Charlotte C.; Allen, Joseph G. (2019): A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. In: *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 29 (2), S. 131–147. DOI: 10.1038/s41370-018-0094-1.
- Trudel, David; Horowitz, Lea; Wormuth, Matthias; Scheringer, Martin; Cousins, Ian T.; Hungerbühler, Konrad (2008): Estimating consumer exposure to PFOS and PFOA. In: *Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis* 28 (2), S. 251–269. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2008.01017.x.
- Umweltbundesamt (2018): Ableitung von HBM-I-Werten für Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) – Stellungnahme der Kommission „Humanbiomonitoring“ des Umweltbundesamts. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 61 (4), S. 474–487. DOI: 10.1007/s00103-018-2709-z.
- Vestergren, Robin; Cousins, Ian T. (2009): Tracking the pathways of human exposure to perfluorocarboxylates. In: *Environ. Sci. Technol.* 43 (15), S. 5565–5575. DOI: 10.1021/es900228k.
- White, Sally S.; Stanko, Jason P.; Kato, Kayoko; Calafat, Antonia M.; Hines, Erin P.; Fenton, Suzanne E. (2011): Gestational and chronic low-dose PFOA exposures and mammary gland growth and differentiation in three generations of CD-1 mice. In: *Environmental health perspectives* 119 (8), S. 1070–1076. DOI: 10.1289/ehp.1002741.
- Yang, Q.; Xie, Y.; Eriksson, A. M.; Nelson, B. D.; DePierre, J. W. (2001): Further evidence for the involvement of inhibition of cell proliferation and development in thymic and splenic atrophy induced by the peroxisome proliferator perfluorooctanoic acid in mice. In: *Biochemical pharmacology* 62 (8), S. 1133–1140. DOI: 10.1016/s0006-2952(01)00752-3.