



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI

Bundesamt für Gesundheit BAG
Direktionsbereich Gesundheitsschutz

August 2023

Pilotphase der Schweizer Gesundheitsstudie

Ergebnisse des Humanbiomonitoring (HBM)



Für mich. Für alle.
Schweizer Gesundheitsstudie

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund.....	4
1.1 Ausgewählte Substanzen	4
1.1.1 Metalle.....	4
1.1.2 Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)	5
1.1.3 Glyphosat.....	5
1.2 Bedeutung der Ergebnisse und geplante Auswertungen.....	6
1.3 Gesundheitsrisiken durch Chemikalien	6
2. Analysenergebnisse im Vergleich	8
2.1 Metalle und andere Elemente.....	8
2.2 Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS).....	11
2.3 Glyphosat.....	13
3. Fazit.....	15
Anhang 1: Quantitative Analysenergebnisse für Elemente mit Nachweisraten über 50%	16
Anhang 2: Analysierte PFAS mit Nachweisraten	17

Zusammenfassung

Im Rahmen der Schweizer Gesundheitsstudie - Pilotphase wurde ein Humanbiomonitoring (HBM) bei 789 gesunden Erwachsenen (20-69 Jahre alt) mit Wohnsitz in den Kantonen Bern oder Waadt durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Substanzen in Blut und Urin der Teilnehmenden gemessen. Die untersuchten Substanzen wurden anhand von verschiedenen Kriterien ausgewählt. Dabei wurden das öffentliche Interesse, die Gesundheitsrelevanz und methodische Überlegungen berücksichtigt. Es handelt sich um die Metalle Blei und Quecksilber und weitere Elemente, ausgewählte per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) und das Pflanzenschutzmittel Glyphosat.

Die über HBM ermittelte Exposition der Bevölkerung der beiden Schweizer Kantone lag für alle Substanzen im gleichen Bereich wie in anderen europäischen Ländern. Gesundheitlich relevant ist – wie auch in anderen Ländern – die Belastung mit Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), da für 3,6% der Teilnehmenden der gesundheitsrelevante Schwellenwert für PFOS überschritten war. Diese Substanz aus der Familie der PFAS wurde vor mehr als 10 Jahren in der EU und der Schweiz – abgesehen von wenigen Ausnahmen - verboten, ist aber aufgrund der langen Lebensdauer und der hohen Mobilität immer noch in der Umwelt und im menschlichen Körper zu finden.

Zurzeit werden die jeweils höchsten in Blut oder Urin gemessenen Substanzmengen mit den jeweiligen Angaben zur Ernährung und anderen Verhaltenskomponenten verglichen, um einen Hinweis auf relevante Expositionsquellen zu erhalten. Solche Informationen sind wichtig, um effektive Risikominderungsmaßnahmen vorzuschlagen und umzusetzen. Die erhobenen HBM-Daten sind repräsentativ für die betreffenden Kantone, jedoch nicht unbedingt für die gesamte Schweiz. Im Rahmen einer Langzeitstudie mit gesunden Teilnehmenden, könnten HBM-Referenzwerte für die gesamte Schweiz abgeleitet werden, um den Gesundheitsschutz schweizweit wirksam auszugestalten. Ausserdem könnte in einer solchen Langzeitstudie bei genügend grosser Anzahl Teilnehmender eine Verbindung zwischen Chemikalienbelastung und Krankheitslast hergestellt werden.

1. Hintergrund

Im Mai 2017 beauftragte der Bundesrat das Bundesamt für Gesundheit (BAG) mit der Durchführung einer Pilotstudie, um die Machbarkeit einer für die Schweizer Bevölkerung repräsentativen Langzeitstudie mit gesunden Teilnehmenden zu untersuchen¹. Diese Pilotstudie, die Schweizer Gesundheitsstudie – Pilotphase², wurde gemeinsam mit der Swiss Biobanking Platform (SBP), Unisanté, dem Institute of Social and Preventive Medicine (ISPM) der Universität Bern und dem Schweizer Tropeninstitut (SwissTPH) konzipiert, bzw. durchgeführt. In deren Rahmen wurden Blut- und Urinproben von 789 gesunden Teilnehmenden gesammelt und auf verschiedene chemische Substanzen untersucht, die als Umweltschadstoffe bekannt sind. Im Juni 2023 wurde dem Bundesrat ein Zwischenbericht vorgelegt, der bereits einige Ergebnisse der Pilotstudie enthält.³ Im vorliegenden Kurzbericht werden die Analytikergebnisse zum Humanbiomonitoring (HBM) von den für die Pilotphase ausgewählten Substanzen vorgestellt.

Bei der Auswahl der in der Pilotstudie analysierten Substanzen wurden mehrere Kriterien berücksichtigt: Eine wichtige Rolle spielten die Relevanz für die Gesundheit der Bevölkerung und das öffentliche Interesse. Zudem wurden auch methodische Überlegungen wie die Verfügbarkeit und Qualität von Analysemethoden, Analysekosten, Expositionsquellen und Stoffeigenschaften in die Entscheidung einbezogen.

1.1 Ausgewählte Substanzen

1.1.1 Metalle

In die Umwelt eingetragene Metalle wie z.B. Blei oder Quecksilber haben je nach Höhe der Exposition unerwünschte gesundheitliche Auswirkungen. Blei schädigt das Nervensystem besonders in der menschlichen Entwicklung.⁴ Quecksilber liegt in der Umwelt in verschiedenen Formen vor, die unterschiedliche gesundheitliche Auswirkungen haben: Elementares Quecksilber wirkt auf das zentrale Nervensystem und auf die Nieren. Die toxikologisch relevantere Form ist aber die organische Verbindung Methylquecksilber, die wie Blei das Nervensystem in der menschlichen Entwicklung schädigt.⁵ Die Exposition der Bevölkerung gegenüber Blei und Quecksilber erfolgt vor allem durch den Verzehr von Lebensmitteln. Ausnahmsweise kann die Exposition gegenüber bestimmten Substanzen auch am Arbeitsplatz vorkommen, wenn beispielsweise bei einer beruflichen Tätigkeit mit Blei- oder Quecksilber-haltigen Materialien umgegangen wird oder wenn diese Substanzen in industriellen oder gewerblichen Prozessen verwendet oder freigesetzt werden.

¹ https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/chem/chemikalien-alltag/Biosurveillance%20humaine%20en%20Suisse.pdf.download.pdf/201706_HBMcohort_Bericht.pdf

² <https://www.schweizer-gesundheitsstudie.ch>

³ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/chemikalien/chemikalien-im-alltag/human-biomonitoring/human-biomonitoring-projekte-in-der-schweiz.html>

⁴ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/chemikalien/chemikalien-a-z/blei.html>

⁵ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/chemikalien/chemikalien-a-z/quecksilber.html>

Für die Pilotstudie wurden Blei (Pb), Quecksilber (Hg) und 23 weitere chemische Elemente (u.a. Arsen (As) und Cadmium (Cd)) vom Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML) in Blutproben (Vollblut) analysiert.

1.1.2 Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)

PFAS werden seit den 1950er Jahren vielfältig verwendet (z.B. in Feuerlöschschäumen, Lebensmittelverpackungen, Skiwachs, Kältemitteln, Textilien) und sind sehr stabil. Einige PFAS reichern sich im menschlichen Körper an, für einige PFAS (z.B. für die Perfluorooctansulfonsäure PFOS und die Perfluorooctansäure PFOA) sind ausserdem gesundheitsschädliche Wirkungen bekannt. Bei vielen PFAS bestehen aber noch grosse Kenntnislücken. Risikobewertungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA)⁶ und des deutschen Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR)⁷ kommen zum Schluss, dass bei Kindern ein Zusammenhang zwischen den PFAS-Gehalten im Blut und einer verminderten Konzentration an Antikörpern nach einer Impfung und damit deren verringerter Wirksamkeit besteht. Zudem wird von den zwei Organisationen auf weitere mögliche negative Gesundheitsauswirkungen von hohen PFAS-Konzentrationen im Blut hingewiesen, zum Beispiel auf die Leber, die Nieren oder auf das Geburtsgewicht.

Da PFAS in der Umwelt sehr langsam oder gar nicht abgebaut werden, werden sie auch in der Nahrung gefunden.⁸ Ausserdem werden PFAS aufgrund ihrer schmutzabweisenden Eigenschaften beispielsweise in Textilien und Polstermöbeln eingesetzt, so dass sie in möblierten Innenräumen vorkommen können und über Hausstaub oder die Luft von den Bewohnenden aufgenommen werden können.

Die PFAS wurden für die Pilotstudie vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) in Blutproben (Blutserum) analysiert.⁹

1.1.3 Glyphosat

Glyphosat ist ein häufig und breit angewendetes Pflanzenschutzmittel, das im menschlichen Körper schnell abgebaut und über den Urin ausgeschieden wird. Laut Risikobewertung der EFSA ist Glyphosat gering akut toxisch, nicht genotoxisch und nicht kanzerogen.¹⁰ Diese Einschätzung teilen laut deutschem Umweltbundesamt (UBA, 2023)¹¹ auch andere internationale Behörden und Gremien wie z.B. die Europäische Chemikalienagentur (ECHA), die US-amerikanische Umweltbehörde (US-EPA), die kanadische Gesundheitsbehörde (Health Canada) und das Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR). Im Gegensatz dazu bewertete die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) Glyphosat 2015 als „Wahrscheinlich kanzerogen für den Menschen“ (Gruppe 2A).¹² Laut UBA (2023) sind diese Unterschiede teilweise auf unterschiedliche Bewertungsgrundlagen zurückzuführen. Zurzeit läuft die Neubewertung des Wirkstoffs auf europäischer Ebene.

⁶ <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2020.6223>

⁷ <https://www.bfr.bund.de/cm/343/pfas-in-lebensmitteln-bfr-bestaetigt-kritische-exposition-gegenueber-industriechemikalien.pdf>

⁸ <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/stoffe-im-fokus/kontaminanten/per-und-polyfluorierte-alkylverbindungen-pfas.html>

⁹ Das BLV Labor wurde im Januar 2023 von METAS übernommen.

¹⁰ https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2023-07/glyphosate_factsheet.pdf

¹¹ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uug_02-2023_deutsche_umweltstudie_zur_gesundheit_von_kindern_und_jugendlichen_2014-2017.pdf

¹² <https://publications.iarc.fr/549>

Zur menschlichen Exposition sind in der Schweiz derzeit nur wenige Daten vorhanden.¹³ Die Exposition der Konsumenten erfolgt vor allem über Nahrungsmittel wie z.B. Hülsenfrüchte, Teigwaren und Frühstückscerealien.

Glyphosat und sein Metabolit Aminomethylphosphonsäure (AMPA) wurden in der Pilotstudie in Urinproben analysiert. Die Messungen wurden vom BLV durchgeführt.

1.2 Bedeutung der Ergebnisse und geplante Auswertungen

Die Pilotstudie wurde in den zwei Kantonen Waadt und Bern mit Erwachsenen im Alter von 20-69 Jahren durchgeführt. Die Teilnehmenden wurden zufällig ausgewählt - repräsentativ für die beiden Kantone bezüglich Alter und Geschlecht - und schriftlich eingeladen. Letztendlich entschlossen sich 14% der zufällig ausgewählten Personen zur Teilnahme.

Die Resultate der chemischen Analysen werden im Moment ausgewertet. Dabei wird der Versuch gemacht, die in den Körperflüssigkeiten Blut und Urin gemessenen Substanzkonzentrationen auf bestimmte Expositionsquellen wie z.B. Nahrung, Kosmetika, Haushaltsreiniger oder auch auf berufliche Expositionen zurückzuführen. Ausserdem sollen Referenzwerte abgeleitet werden, die eine durchschnittliche Belastung der Bevölkerung in den teilnehmenden Kantonen darstellen und als Vergleichswerte («Normalwerte») dienen können.

Diese Untersuchungen sollen in wissenschaftlichen Zeitschriften umfassend veröffentlicht werden. Die Analysenergebnisse werden hier als Vorabinformation in zusammengefasster Form vergleichend dargestellt.

1.3 Gesundheitsrisiken durch Chemikalien

Ob eine Belastung mit Chemikalien für die menschliche Gesundheit relevant ist, wird durch den Vergleich mit einem Schwellenwert beurteilt. Dieser Schwellenwert wird aufgrund der Toxizität einer chemischen Substanz bestimmt. Aus diesem Vergleich kann dann abgeleitet werden, ob die im Körper vorhandene Menge der Substanz, nach heutigem Stand des Wissens, ein gesundheitliches Risiko darstellt. Soweit möglich, wurden die über HBM ermittelten Substanzkonzentrationen in Kapitel 2 mit gesundheitlichen Schwellenwerten verglichen, die spezifisch für HBM abgeleitet wurden. Da für Glyphosat solche Schwellenwerte nicht vorhanden waren, wurde anhand der über HBM ermittelten Substanzkonzentrationen auf die tägliche Aufnahme umgerechnet und dieser Wert mit einer duldbaren täglichen Aufnahmemenge (ADI) verglichen.

Schwellenwerte, die besonders gut zur Einordnung von HBM-Substanzkonzentrationen geeignet sind, sind z.B. die vom deutschen Umweltbundesamt (UBA) aus toxikologischen und epidemiologischen Untersuchungen abgeleiteten HBM-I und HBM-II-Werte.¹⁴ Falls HBM-I und HBM-II-Werte für eine Substanz vorhanden sind, wurden diese für den Vergleich verwendet.

¹³ <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/stoffe-im-fokus/pflanzenschutzmittel/glyphosat.html>

¹⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/kommission-human-biomonitoring/beurteilungswerte-der-hbm-kommission>

- Der HBM-I -Wert einer Substanz gilt dabei als Kontrollwert, unter dem noch keine Konsequenzen für die Gesundheit zu erwarten sind. Werte unterhalb des HBM-I Werts können demnach als unbedenklich angesehen werden.
- Der HBM-II-Wert gibt die Schwelle zu möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit an. Bei HBM-konzentrationen oberhalb dieses Wertes besteht mitunter Grund zur Besorgnis.

Falls keine HBM-I und HBM-II Werte verfügbar waren, wurde auf Schwellenwerte zurückgegriffen, die durch Health Canada basierend auf toxikologischen Studien zur Einordnung von HBM-Substanzkonzentrationen auf Bevölkerungsebene abgeleitet wurden: die Biomonitoring-Äquivalente BE und BE_{POD}.¹⁵ Im Unterschied zu den HBM-I und HBM-II-Werten wurden hier keine epidemiologischen Studien zur Ableitung verwendet. Damit sind sie eher dazu geeignet, Aussagen über eine gesamte Bevölkerungsgruppe zu machen, statt als Vergleichswert mit individuellen Ergebnissen zu dienen.

- Unterhalb vom BE ist das Risiko für den Menschen vernachlässigbar
- zwischen BE und BE_{POD} kann ein moderates Risiko und
- oberhalb vom BE_{POD} kann ein erhöhtes Risiko bestehen.

¹⁵ <https://www.canada.ca/fr/services/sante/publications/science-recherche-et-donnees/equivalents-biosurveillance-outil-evaluation-donnees-echelle-population.html>

2. Analysenergebnisse im Vergleich

Quantitative Angaben werden nur für diejenigen Substanzen gemacht, die bei mehr als der Hälfte der Teilnehmer nachgewiesen wurden, d.h. eine Nachweisrate von über 50% haben (siehe Tabellen 1, 4 und 6). Für jede untersuchte Substanz werden die Nachweisrate, der arithmetische Mittelwert, der Median und das 95. Perzentil angegeben. Dabei geben der arithmetische Mittelwert und der Median mittlere Belastungen wieder, und das 95te Perzentil (P95) hohe Belastungen (nur 5% der untersuchten Proben waren höher).

Proben mit Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze¹⁶ wurde für die Bestimmung des arithmetischen Mittelwertes und des 95. Perzentils ein Wert zugewiesen, welcher der Bestimmungsgrenze geteilt durch die Quadratwurzel von zwei entspricht.¹⁷

2.1 Metalle und andere Elemente

Gesundheitlich relevante Metalle wurden in Vollblutproben mittels einer Multi-Element-Methode über induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) quantifiziert. Innerhalb dieser Methode wurden insgesamt 25 Metalle und Elemente analysiert, von denen aber nicht für alle ausreichend robuste quantitative Ergebnisse erhalten wurden. Für 11 der analysierten Elemente war die Quantifizierung validiert, es gab keine Kontamination bei der Probenahme bzw. aufgrund der Analysenmethode und die Nachweisrate lag bei über 50%. Für diese Elemente sind in Anhang 1 die Bestimmungsgrenzen angegeben, die jeweils mindestens um einen Faktor 10 unterhalb der gesundheitlichen Schwellenwerte lagen, soweit diese vorhanden sind.

Die Analyseergebnisse für die gesundheitlich besonders relevanten Elemente Quecksilber, Arsen, Cadmium und Blei sind in Tabelle 1 aufgeführt. Für Cadmium wurden, zusätzlich zu den Ergebnissen für alle Teilnehmenden, auch die Messwerte für Nichtraucher angegeben, da Raucher infolge des Tabakkonsums durchweg höher exponiert sind.¹⁸

Tabelle 1 : Konzentrationen von Quecksilber, Arsen, Cadmium und Blei in Vollblutproben

Substanz	Abkürzung	Nachweisrate [%]	arith. Mittelwert [ng/mL]	Median [ng/mL]	P95 [ng/mL]
Quecksilber	Hg	85	1,3	0,9	3,6
Arsen	As	76	1,2	0,5	4,8
Cadmium	Cd	97	0,4	0,3	1,3
Cadmium <i>Nichtrauchende</i>	Cd	97	0,3	0,3	0,7
Blei	Pb	99	16	13	37

¹⁶ Die Bestimmungsgrenze ist die niedrigste Konzentration, die mit akzeptabler Genauigkeit für eine Substanz quantitativ bestimmt werden kann.

¹⁷ Pérez-Gómez *et al.*, 2013, <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1320-3>

¹⁸ Saravanabhavan *et al.*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.10.006>

In Abbildung 1 werden die Analyseergebnisse aus der Schweizer Pilotstudie, aus denen derzeit Referenzwerte abgeleitet werden, mit bereits bestehenden Referenzwerten anderer Länder verglichen. Dabei werden nur Referenzwerte mit vergleichbaren Basisdaten für den Vergleich verwendet, insbesondere nicht rauchende Teilnehmer im Falle von Cadmium. Die Analyseergebnisse für Quecksilber, Arsen, Cadmium und Blei im Blut zeigen, dass die Exposition der Schweizer Bevölkerung in den Pilotkantonen in der gleichen Grössenordnung liegt wie in den Nachbarländern^{19, 20, 21, 22, 23} (Abbildung 1).



Abbildung 1: P95-Konzentrationen von Quecksilber, Arsen, Cadmium und Blei im Vollblut aus der Pilotstudie (CH) im Vergleich mit P95 für Deutschland (DE), Italien (IT), Frankreich (F), Belgien/Wallonien (BE WAL) und Kanada (CA)

Tabelle 2 zeigt für Quecksilber den Vergleich mit den gesundheitsrelevanten Schwellenwerten, dem HBM-I-Wert und dem HBM-II-Wert²⁴. Diese wurden für Methyl-quecksilber abgeleitet, beziehen sich also auf die toxikologisch relevantere Form des Quecksilbers.²⁵

¹⁹ Lermen et al, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.11366>

²⁰ Saravanabhavan et al., 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.10.006>

²¹ Oleko et al, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113630>

²² Jacques et al, 2021, <https://www.issep.be/wp-content/uploads/Rapport-valeur-de-reference-Siensano-ISSeP.pdf>

²³ AFN, 2013, First Nations Biomonitoring Initiative: National Results 2011, <http://www.afn.ca>

²⁴ Human-Biomonitoring (HBM)-Werte, abgeleitet von der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes, Stand März 2020

²⁵ Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes» (1999), <https://link.springer.com/article/10.1007/s001030050148>

Tabelle 2: Quecksilber in Vollblutproben: Vergleich von Median und P95 aus der Schweizer Gesundheitsstudie - Pilotphase mit HBM-I und HBM-II Werten²⁶

Substanz	Median [ng/mL]	P95 [ng/mL]	HBM-I [ng/mL]	HBM-II [ng/mL]	Werte oberhalb HBM-II [%]
Quecksilber	0,9	3,6	5	15	0,4

Für Quecksilber sind die in den Schweizer Pilotkantonen gemessenen Werte als wenig besorgniserregend einzustufen, wobei allerdings drei von 768 Werten den Schwellenwert HBM-II überschreiten.

Für die anderen Metalle gibt es keine entsprechenden HBM-I und HBM-II-Schwellenwerte für Blut. Für Cadmium wurden Biomonitoring-Äquivalente (BE) abgeleitet, die stattdessen zur Bewertung verwendet werden können (Tabelle 3).

Tabelle 3: Cadmium in Vollblutproben: Vergleich von Median und P95 aus der Schweizer Gesundheitsstudie - Pilotphase mit BE Werten²⁷

Substanz	Median [ng/mL]	P95 [ng/mL]	BE [ng/mL]	BE _{POD} [ng/mL]	Proben oberhalb BE [%]	Proben oberhalb BE _{POD} [%]
Cadmium (n=768)	0,3	1,3	1,7	5,3	3,1	0,0
Cadmium, nicht- rauchend (n=678)	0,3	0,7	1,7	5,3	0,3	0,0

Für Cadmium überschreiten 3,1 % der Teilnehmenden (24 von 768) den BE in Blut. Erwartungsgemäss ist dieser Prozentsatz für die Untergruppe der Nichtraucher, die weniger stark mit Cadmium belastet sind, niedriger. Bei den Nichtrauchenden überschreiten nur 0.3% (2 von 678 Teilnehmenden) den BE. Der obere BE_{POD}-Wert von 5,3 ng/mL Cadmium wird weder von der Allgemeinbevölkerung noch von der Untergruppe der Nichtraucher überschritten. Das Gesundheitsrisiko kann daher für die Mehrheit der Teilnehmenden als gering eingestuft werden.

²⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/kommission-human-biomonitoring/beurteilungswerte-der-hbm-kommission>

²⁷ Hays et al., 2008, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2008.05.008>

2.2 Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)

Die Gruppe der PFAS umfasst mehrere 1000 verschiedene chemische Substanzen, die in unterschiedlichen Anwendungen und Zusammensetzungen eingesetzt werden. Die Auswahl der analysierten PFAS orientierte sich an der aktuellen Empfehlung der EU zum PFAS-Monitoring in Lebensmitteln (Europäische Kommission EU 2022/1431²⁸). Alle 30 analysierten Substanzen aus der Familie der PFAS sind in Anhang 2 angegeben.

Die quantitative Analyse der 30 ausgewählten PFAS wurde mittels Flüssigchromatographie mit Triple-Quadrupol-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) nach einer spezifischen Probenvorbereitung durchgeführt. Für alle Substanzen war die Bestimmungsgrenze bei 0.1 ng/mL. Die Analyseergebnisse für die sieben PFAS, welche in mehr als der Hälfte der Proben quantitativ bestimmt wurden, sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Konzentrationen im Blutserum für PFAS mit Nachweis in über 50% der Proben

Substanz	Akronym	CAS-Nr.	Nachweis rate* [%]	Arith. Mittelwert [ng/mL]	Median [ng/mL]	P95 [ng/mL]
Perfluorooctansäure	PFOA	335-67-1	100	1,5	1,3	3,2
Perfluornonansäure	PFNA	375-95-1	99,6	0,5	0,4	0,9
Perfluordecansäure	PFDA	335-76-2	90,9	0,3	0,2	0,7
Perfluorundecansäure	PFUnDA	2058-94-8	51,2	0,1	0,1	0,3
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	355-46-4	100	1,4	1,2	2,5
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	375-92-8	87,9	0,2	0,2	0,5
Perfluorooctansulfonsäure (linear + verzweigt)	Summe PFOS	n.a.	100	7,8	6,1	18,8

*Bestimmungsgrenze: 0,1 ng/mL

In allen gemessenen Blutserumproben wurden PFOA, PFHxS und PFOS gefunden. Dies waren auch die Verbindungen, für welche die höchsten Mediane gemessen wurden: PFOS 6,1 ng/mL, PFHxS 1,2 ng/mL und PFOA 1,3 ng/mL. Daneben wurden PFNA und PFDA in mehr als 90% aller Proben in quantifizierbaren Konzentrationen gemessen. PFOS und PFOA sind die am besten untersuchten PFAS. Ihre Verwendung ist in der EU und der Schweiz nur noch sehr beschränkt möglich.²⁹ Durch die Langlebigkeit dieser Substanzen findet man sie aber immer noch in der Umwelt und im Menschen.

²⁸ Official Journal of the European Union, L 221, 26 August 2022

²⁹ <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/countryinformation/european-union.htm>

Die in dieser Studie gemessenen PFAS-Konzentrationen waren insgesamt mit denen vergleichbar, die in ähnlichen Studien in Europa und Kanada ermittelt wurden^{30, 31, 32, 33, 34, 35}.



Abbildung 2: P95-Konzentrationen von PFAS im Blutserum aus der Pilotstudie (CH) im Vergleich mit P95 für Italien (IT), Frankreich (F), Belgien/Wallonien (BE-WAL), Tschechien (CZ), Kanada (CA) und Vereinigte Staaten von Amerika (USA)

Tabelle 4 zeigt für PFOS und PFOA den Vergleich mit für die Gesundheit relevanten Schwellenwerten, dem HBM-I- und dem HBM-II-Wert für die allgemeine Bevölkerung.³⁶ Für die anderen PFAS gibt es keine entsprechenden Schwellenwerte.

Tabelle 5: PFOA und PFOS in Blutserum: Vergleich Median und 95. Perzentil der Schweizer Pilotstudie mit HBM-I und HBM-II Werten

Substanz	Median [ng/mL]	95. Perzentil [ng/mL]	HBM-I-Wert [ng/mL]	HBM-II-Wert [ng/mL]	Anteil oberhalb HBM-II [%]	Proben
PFOA	1,3	3,2	2	10	0	
PFOS	6,1	18,8	5	20	3,6	

³⁰ Ingelido et al, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105435>

³¹ Fillol et al, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106340>

³² Charlier et al, 2022, Programme de biomonitoring humain wallon BMH-WAL, <https://www.issep.be/bmh-wal/>

³³ National Institute of Public Health, 2021, https://szu.cz/wpcontent/uploads/2022/12/SZU_Report_2021.pdf

³⁴ U.S. Department of Health and Human Services CDC, 2019, <https://doi.org/10.15620/cdc75822>

³⁵ Health Canada, 2021, Sixth report on human biomonitoring of environmental chemicals in Canada

³⁶ Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes (2020), <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03101-2>. Da sich Blutplasma und -serum lediglich durch das Vorhandensein von Gerinnungsfaktoren unterscheiden, können die Referenzwerte für Humanplasma auch für die Serumproben der vorliegenden Studie verwendet werden.

Für PFOA sind die in der Schweiz gemessenen Werte eher unbedenklich, während die PFOS-Gehalte im Blut bei 3,6% der Studienteilnehmenden oberhalb dem HBM-II-Wert liegen. Ab diesem Wert sind Auswirkungen auf die Gesundheit möglich. Männer sind stärker belastet als Frauen: 4,9% der Männer gegenüber 2,5% der Frauen weisen PFOS-Gehalte im Blut auf, die oberhalb dem HBM-II-Wert liegen. Vermutlich ist dieser Unterschied auf die regelmässige Ausscheidung von PFAS über das Menstruationsblut zurückzuführen.³⁷ Zurzeit werden für die am höchsten exponierten Teilnehmenden die wahrscheinlichsten Expositionsquellen bestimmt.

2.3 Glyphosat

Im menschlichen Körper wird Glyphosat zu maximal 0,3% in den Metaboliten Aminomethylphosphonsäure (AMPA) abgebaut.³⁸ Deshalb wurden beide Substanzen im Urin bestimmt. AMPA entsteht aber nicht nur durch Glyphosat-Abbau im Körper, sondern kann auch direkt aufgenommen werden.

In der Pilotstudie wurden Spot-Urin-Proben erhoben, d.h. die Teilnehmenden gaben zu einem bestimmten Zeitpunkt eine einzelne Urinprobe ab. Obwohl diese punktuellen Proben nützlich sind, um einen ersten Anhaltspunkt zur Exposition zu liefern, lassen sie wegen der schnellen Ausscheidung von Glyphosat aus dem Körper nur bedingt Rückschlüsse auf die Expositionsquellen zu. Für eine genauere Bewertung wäre es notwendig, entweder Urin über 24 h zu sammeln und zu analysieren, oder den ersten Morgenurin zu analysieren und über dessen Kreatinin-gehalt zu korrigieren.³⁹

Die quantitative Analyse von Glyphosat und dem Metaboliten AMPA erfolgte durch Flüssigchromatographie gekoppelt mit einem Triple-quadrupol Massenspektrometer (LC-MS/MS).⁴⁰ Die Bestimmungsgrenzen für Glyphosat und AMPA in den Urinproben liegen bei 0,05 bzw. 0,1 ng/mL. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse dargestellt. Zusätzlich zu den direkten Messwerten ist das P95 der über den Kreatinin-gehalt in Urin normalisierten Proben angegeben.

Tabelle 6: *Glyphosat und AMPA Konzentrationen in Spot-Urin-Proben der Pilotstudie*

Substanz	Abkürzung	CAS-Nr.	Nachweis- rate [%]	Median [ng/mL]	P95 [ng/mL]	P95 [ng/mg _{crea}]
Glyphosat	GLY	1071-83-6	19	<0,05	0,11	0,18
Aminomethyl- phosphonsäure	AMPA	1066-51-9	13	<0,1	0,2	0,35

³⁷ Upson et al., 2022, <https://doi.org/10.1007/s40572-022-00332-0>

³⁸ EFSA, 2015, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4302>

³⁹ Conrad et al., 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.09.016>

⁴⁰ Zoller et al. 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113526>

Insgesamt wurde nur in 19%, bzw. 13% der 783 analysierten Proben Glyphosat und/oder AMPA in quantifizierbaren Konzentrationen gemessen. Da also über 80% der analysierten Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, resultiert ein Medianwert, der ebenfalls unterhalb der Bestimmungsgrenze liegt. Studien, die in anderen europäischen Ländern durchgeführt wurden, kommen zu ähnlichen Ergebnissen, mit jeweils dem Median unter der Bestimmungsgrenze und einem P95-Wert in ähnlicher Grössenordnung (siehe Abbildung 3).⁴¹ Die schwedische Studie wurde wie die Schweizer Pilotstudie mit Spoturin durchgeführt.⁴² Die im Rahmen der europäischen Partnerschaft HBM4EU⁴³ durchgeführte Studie basiert auf einem Kollektiv, das für Nord- und Westeuropa repräsentativ ausgewählt wurde. Es wurden Studien aus Deutschland, Frankreich, Schweiz und Island kombiniert, die 24-Stunden-Urin, Morgenurin und Spoturin erhoben haben.

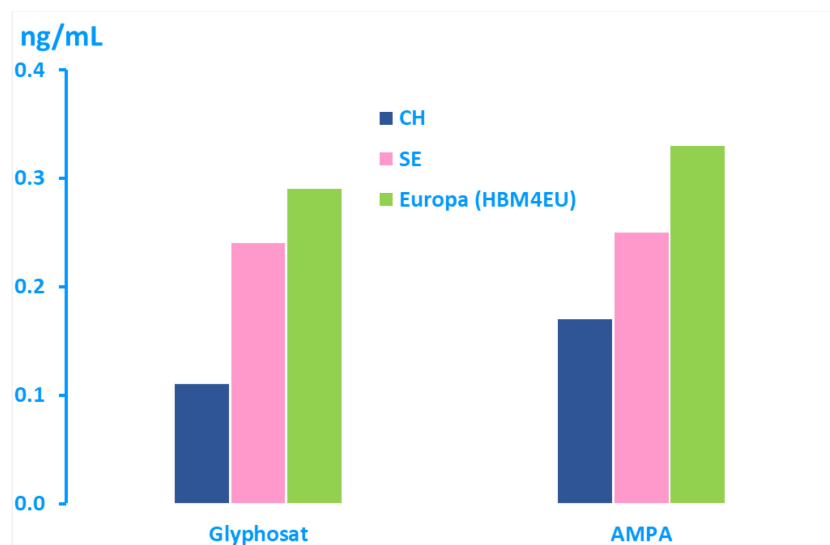


Abbildung 3: P95-Konzentrationen von Glyphosat und AMPA im Spot-Urin der Pilotstudie (CH) im Vergleich zu P95 in Schweden (SE) und einem für Nord- und Westeuropa repräsentativen Kollektiv (Europa)

Für Glyphosat liegen keine direkten Schwellenwerte für HBM-Werte vor. Um die Glyphosatkonzentrationen im Urin toxikologisch einzuordnen, wurde deshalb aus den P95-Werten der vorliegenden Studie die jeweilige tägliche Aufnahmemenge rückgerechnet. Man erhält damit eine tägliche Aufnahme von 0,00041 mg Glyphosat pro kg Körpergewicht für Frauen und 0,00045 mg Glyphosat pro kg Körpergewicht für Männer, die für die höchstbelasteten Teilnehmenden in den Schweizer Pilotkantonen gilt.⁴⁴ Diese Mengen liegen jeweils weit unter der duldbaren täglichen Aufnahmemenge von 0,5 mg Glyphosat pro kg Körpergewicht und Tag (EFSA, 2015)⁴⁵, sodass aufgrund der Glyphosat-Exposition kein Risiko besteht.

⁴¹ Buekers et al., 2022, <https://doi.org/10.3390/toxics10100552>

⁴² Faniband et al., 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113657>

⁴³ <https://www.hbm4eu.eu/>

⁴⁴ Die Aufnahmemenge wurde mit Hilfe geschlechtsspezifischer Mittelwerte für täglich ausgeschiedenes Kreatinin (15.4 mmol/Tag für Männer, 11.1 mmol/Tag für Frauen, Johner et al., 2015, <https://www.nature.com/articles/ejcn2015121>) unter Annahme einer Ausscheidung von 1% des aufgenommenen Glyphosat (Zoller et al., 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113526>) aus den Kreatinin-normalisierten Glyphosatkonzentrationen berechnet.

⁴⁵ EFSA, 2015, https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/4302_glyphosate_complementary.pdf

3. Fazit

Für eine Reihe von Substanzen liefert das HBM aus der Schweizer-Gesundheitsstudie – Pilotphase zum ersten Mal repräsentative Daten zur Belastung der Schweizer Bevölkerung in den Pilotkantonen. Sie werden zurzeit dazu verwendet, Referenzwerte für die Pilotkantone abzuleiten. Diese Referenzwerte stellen die gewöhnliche Belastung der erwachsenen Allgemeinbevölkerung dar und können dann zum Vergleich mit ungewöhnlichen Expositionen (z.B. bei Exposition am Arbeitsplatz oder bei erhöhten Umweltbelastungen) herangezogen werden. Ausserdem werden für die jeweils höchstbelasteten Teilnehmenden die wahrscheinlichsten Expositionsquellen untersucht, damit sich das Risikomanagement der Schweizer Behörden auf die entsprechenden Daten stützen kann.

Die erhobenen HBM-Daten sind repräsentativ für die 20- bis 69-jährige Bevölkerung der betreffenden Kantone, jedoch nicht unbedingt für die gesamte Schweiz. Im Rahmen einer nationalen Langzeitstudie mit gesunden Teilnehmenden könnten HBM-Referenzwerte für weitere Kantone und die gesamte Schweiz abgeleitet werden, um den Gesundheitsschutz schweizweit wirksam auszugestalten. Ausserdem könnte in einer solchen Langzeitstudie bei genügend grosser Anzahl Teilnehmender eine Verbindung zwischen Chemikalienbelastung und Krankheitslast hergestellt werden.

Anhang 1: Quantitative Analyseergebnisse für Elemente mit Nachweisraten über 50%

Substanz	Abkürzungen	Bestimmungsgrenze [ng/mL]	Nachweisrate [%]	Arithm. Mittelwert [ng/mL]	Median [ng/mL]	P95 [ng/mL]
Arsen	As	0,1	76	1,2	0,5	4,8
Cadmium	Cd	0,1	97	0,4	0,3	1,3
Cobalt	Co	0,04	99	0,1	0,1	0,4
Chrom	Cr	0,1	88	0,3	0,3	0,8
Kupfer	Cu	10	100	824	800	1076
Quecksilber	Hg	0,2	85	1,3	0,9	3,6
Mangan	Mn	0,6	100	8,5	8,1	12,6
Molybdän	Mo	0,1	100	0,8	0,7	1,4
Blei	Pb	0,5	99	16	13	37
Selen	Se	3	100	131	126	175
Zink	Zn	3	100	6003	6007	7459

Anhang 2: Analysierte PFAS mit Nachweisraten

Blau : Substanzen mit Nachweisrate über 50%

*Bestimmungsgrenze für alle unten aufgelisteten Substanzen: 0,1 ng/mL

Substanz	Abkürzungen	CAS-Nr.	Nachweisrate* [%]
Perfluorbutansäure	PFBA	375-22-4	1,2
Perfluorpentansäure	PFPeA	2706-90-3	0,0
Perfluorhexansäure	PFHxA	307-24-4	0,0
Perfluorheptansäure	PFHpA	375-85-9	1,4
Perfluoroctansäure	PFOA	335-67-1	100
Perfluorononansäure	PFNA	375-95-1	99,6
Perfluordecansäure	PFDA	335-76-2	90,9
Perfluorundecansäure	PFUnDA	2058-94-8	51,2
Perfluordodecansäure	PFDoDA	307-55-1	2,1
Perfluortridecansäure	PFTTrDA	72629-94-8	0,4
Perfluortetradecansäure	PFTeDA	376-06-7	0,0
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	375-73-5	4,4
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	355-46-4	100
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	375-92-8	87,9
Perfluoroctansulfonsäure (Summe linear + verzweigt)	total PFOS	n.a.	100
Perfluordecansulfonsäure	PFDS	335-77-3	0,0
2,3,3,3-Tetrafluor-2-(1,1,2,2,3,3,3,-heptafluorpropoxy)-propansäure, Hexafluorpropyleneoxid-dimer säure	HFPO-DA/GenX	62037-80-3	0,0
Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure, 3H-Perfluor-3-[(3-methoxy-propoxy)propansäure]	ADONA	958445-44-8	0,0
1H,1H,2H,2H-Perfluor-n-octansulfonsäure, 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluorooctanesulfonic acid	6:2 FTS	27619-97-2	0,3
1H,1H,2H,2H-Perfluor-n-decansulfonsäure	8:2 FTS	39108-34-4	0,0
9-Chlorhexadecafluor-3-oxanonan-1-sulfonsäure; 2-[(6-chlor-1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6-dodecafluorhexyl)-oxy]-1,1,2,2-tetrafluor-ethansulfonsäure	9CI-PF3ONS/ 6:2 CI-PFESA	n.a	0,0
Perfluor-1-octansulfonamid; 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptadecafluoro-1-octansulfonamid	FOSA	754-91-6	0,0
N-Methylperfluor-1-octansulfonamid; 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptadecafluoro-N-methyl-1-octansulfonamid	MeFOSA	31506-32-8	0,0
N-Ethylperfluor-1-octansulfonamid	EtFOSA	4151-50-2	0,0
2H-Perfluor-2-decensäure; 3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,10-hexadecafluor-2-decensäure	8:2 FTUCA/ FOUEA	70887-84-2	0,0
N-Methyl-perfluoroctansulfonamidoessigsäure	MeFOSAA	2355-31-9	4,8

Substanz	Abkürzungen	CAS-Nr.	Nachweisrate* [%]
N-Ethyl-perfluorooctansulfonamidoessigsäure	EtFOSAA	2991-50-6	0,4
Natrium bis(1H,1H,2H,2H-perfluordecyl)phosphorsäure 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,10-heptadecafluor-, 1,1'- (hydrogen phosphorsäure)-1-Decanol 8:2 Fluorotelomer phosphat diester	8:2 diPAP	678-41-1	0,0
N-(Carboxymethyl)-N,N-dimethyl-N-[3-(1H,1H,2H,2H-perfluor- 1-octansulfonamido)propan-1-yl]ammonium	6:2 FTAB	34455-29-3	0,1
N-[3-(Dimethyloxidamino)propyl]-3,3,4,4,5,5,6,6,7,7, 8,8,8-tridecafluor-1-octansulfonamid	Capstone A	80475-32-7	0,0

Danksagung

Wir danken den Teilnehmenden der Schweizer Gesundheitsstudie – Pilotphase für ihren wertvollen Beitrag. Den Partnerinstitutionen Swiss Biobanking Platform (SBP), Unisanté, dem Institute of Social and Preventive Medicine (ISPM) der Universität Bern und SwissTPH danken wir für die Zusammenarbeit. Dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) und dem Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) danken wir für die Finanzierung der Analytik, sowie den Institutionen METAS und CURML für die Durchführung der Analytik.