

6. Oktober 2025

Weniger PFAS in Hühnereiern aus Boden- und Freilandhaltung – Eier und Eiprodukte tragen aber weiterhin zur Gesamtexposition bei

In Kürze

- Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind eine große Gruppe von Chemikalien, die in zahlreichen industriellen Prozessen und Produkten eingesetzt werden. PFAS sind schwer abbaubar, verbleiben daher lange Zeit in der Umwelt und gelangen in die Nahrungskette. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat auf der Grundlage von Gehaltsdaten des Lebensmittelmonitorings aus dem Jahr 2024 geschätzt, in welchen Mengen die vier PFAS Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), Perfluorooctansäure (PFOA), Perfluorononansäure (PFNA) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) über Hühnereier aufgenommen werden. Dabei wurde nach Eiern von Legehennen aus Freilandhaltung, aus Bodenhaltung und aus ökologischer Erzeugung unterschieden.
- Ergebnis: Bei keiner der Proben wurde der gesetzlich festgesetzte Höchstgehalt für die Summe der vier PFAS überschritten. Auch die Höchstgehalte für die vier Einzelverbindungen wurden nicht überschritten. Vergleicht man die aktuellen Gehalte mit vorherigen Untersuchungen, zeigt sich für die mittleren PFAS-Gehalte in Eiern aus allen Erzeugungsarten über die Jahre hinweg ein rückläufiger Trend für die Summe der vier PFAS. Das Lebensmittel Hühnerei kann dennoch einen relevanten Beitrag zur Gesamtexposition gegenüber PFAS leisten. Die höchsten Gehalte wurden in Eiern aus ökologischer Erzeugung sowie aus Freilandhaltung ermittelt. Eier aus Bodenhaltung wiesen deutlich niedrigere PFAS-Gehalte auf.
- Die geschätzte Aufnahmemenge an PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern überschreitet den gesundheitsbasierten Richtwert nicht. Gesundheitliche Beeinträchtigungen allein durch den Verzehr von Eiern sind damit nicht zu erwarten. Allerdings werden PFAS auch über eine Vielzahl anderer Lebensmittel aufgenommen. Betrachtet man die Gesamtaufnahme von PFAS über Lebensmittel, so kann der gesundheitsbasierte Richtwert überschritten werden (siehe Stellungnahme Nr. 020/2021 des BfR vom 28. Juni 2021). Die Exposition oberhalb

der tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge (TWI) bei Teilen der Bevölkerung gibt daher Anlass zur gesundheitlichen Besorgnis (EFSA 2020).

Wie gelangen die betrachteten vier PFAS in den Körper?



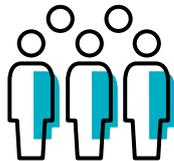
Die Aufnahme von PFAS aus Hühnereiern erfolgt **oral** über die Mahlzeiten.

Gibt es einen gesundheitlichen Richtwert?



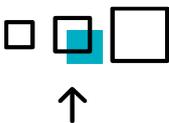
Der gesundheitsbezogene **Richtwert** für die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) für die Summe von PFOA, PFOS, PFNA und PFHxS liegt bei 4,4 Nanogramm (ng) je Kilogramm Körpergewicht. Bei lebenslanger Aufnahme dieser Menge ist keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten.

Besteht ein gesundheitliches Risiko?



Die geschätzte Aufnahmemenge der vier genannten PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern überschreitet den gesundheitsbasierten Richtwert (TWI) nicht. Verbraucherinnen und Verbraucher nehmen diese Stoffe auch über andere Lebensmittel auf. Betrachtet man die Gesamtaufnahme der vier genannten PFAS über Lebensmittel, kann der gesundheitsbasierte Richtwert überschritten werden. Die Exposition oberhalb des TWI bei Teilen der Bevölkerung gibt Anlass zur gesundheitlichen Besorgnis.

Wie ist die Qualität der Datenlage?

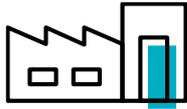


Die Qualität der Datenlage ist **mittel**, da die Zahl der untersuchten Proben zwar deutlich gestiegen ist, für repräsentative Aussagen zur Gesamtsituation in Deutschland aber noch zu klein ist und auch regionale Unterschiede nicht vollständig zufriedenstellend abgebildet sind. Trotz der in den letzten Jahren stark verbesserten und daher empfindlicheren Analytik liegen die Gehalte der vier genannten PFAS bei ungefähr 75 % der gezogenen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Wie kann das Gesundheitsrisiko durch PFAS in Hühnereiern verringert werden?



Der Staat kann aufgrund des ubiquitären Vorhandenseins in der Umwelt nur durch Maßnahmen zur Verringerung der PFAS-Einträge in die Lebensmittelkette die Aufnahme von PFAS über Lebensmittel wie Eier beeinflussen. Die niedrigeren PFAS-Gehalte der Proben des Lebensmittelmonitorings aus dem Jahr 2024 im Vergleich zu älteren Untersuchungen weisen auf den Erfolg dieser Maßnahmen hin.



Produzenten können aufgrund des ubiquitären Vorhandenseins in der Umwelt nur durch Maßnahmen zur Verringerung der PFAS-Einträge in die Lebensmittelkette die Aufnahme von PFAS über Lebensmittel wie Eier beeinflussen. Dies schließt beispielsweise Qualitätssicherungsmaßnahmen bei Futtermitteln und Tränkwasser sowie bei den Fertigprodukten ein. Der hauptsächliche Eintragspfad über PFAS im Boden ist bei ökologischer Haltung und Freilandhaltung allerdings nur sehr eingeschränkt zu beeinflussen.



Verbraucherinnen und Verbraucher können ihre Exposition gegenüber PFAS als ubiquitäre Umweltkontaminanten kaum beeinflussen. Das Vorkommen von PFAS in Lebensmitteln kann hauptsächlich durch das Vermeiden und Verschließen von Eintragsquellen in die Umwelt beeinflusst werden. Im Rahmen der Lebensmittelsicherheit und für eine gesunde Ernährung wird Verbraucherinnen und Verbrauchern empfohlen, sich abwechslungsreich und ausgewogen zu ernähren.

1 Gegenstand der Bewertung

Das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) bat das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) um eine gesundheitliche Bewertung von Daten zum Vorkommen von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) in Hühnereiern auf der Grundlage des Lebensmittelmonitorings 2024. Die Auswertung sollte möglichst differenziert nach Erzeugungsarten bzw. Haltungsformen erfolgen.

2 Ergebnis

Die Ergebnisse der Auswertung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Gehaltsdaten aus dem Monitoring 2024

In dem vorliegenden Datensatz zum Vorkommen von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) in Hühnereiern aus dem Monitoring 2024 liegt der Anteil an Proben mit Gehalten oberhalb der Bestimmungsgrenze für die Summe der vier in der Verordnung (EU) 2023/915 genannten PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) insgesamt bei 24 %, wobei sich deutliche Unterschiede zwischen den Haltungsformen ergeben. Der mittlere Summengehalt für PFAS in Eiern aus ökologischer Erzeugung liegt bei 0,09 µg/kg („lower bound“ Ansatz, LB) und für Eier aus Freilandhaltung bei 0,07 µg/kg (LB), während der mittlere Summengehalt für PFAS in Eiern aus Bodenhaltung um ein Vielfaches niedriger ist (0,001 µg/kg, LB).

Für keine der Proben mit quantifizierbaren PFAS-Gehalten wurde der in der Verordnung (EU) 2023/915 gesetzlich festgesetzte Höchstgehalt von 1,7 µg/kg für die Summe der vier PFAS überschritten. Auch die entsprechenden Höchstgehalte für die vier Einzelverbindungen wurden nicht überschritten.

2. Expositionsschätzung

Auf Basis der Gehaltsdaten aus dem Monitoring (2024) hat das BfR eine Expositionsschätzung für die vier in der Verordnung (EU) 2023/915 genannten PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) durch den Verzehr von Hühnereiern aus unterschiedlichen Haltungsformen (Bodenhaltung, Freilandhaltung und ökologische Erzeugung) für Kinder und

Erwachsene vorgenommen. Dabei wurden drei hypothetische Verzehrscenarien für Eier unter der Annahme verwendet, dass ausschließlich Hühnereier einer von drei Haltungformen verzehrt werden (nur Bodenhaltung oder Freilandhaltung oder ökologische Erzeugung). Für die Risikocharakterisierung wurde die von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) abgeleitete tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) von 4,4 Nanogramm (ng) pro Kilogramm (kg) Körpergewicht (KG) und Woche für die Summe der vier genannten PFAS zugrunde gelegt (EFSA 2020).

- a) Für Erwachsene liegt die langfristige Exposition in Deutschland gegenüber der Summe der vier EFSA-PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern mit mittleren Gehalten unter Verwendung des LB je nach betrachtetem Verzehrscenario im Bereich von 0,002 - 0,17 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil) und 0,005 - 0,54 ng/kg KG und Woche (95. Perzentil). Damit liegt die geschätzte Exposition gegenüber den vier PFAS unterhalb des TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche und erreicht 0,05 - 4 % (50. Perzentil) bzw. 0,1 - 11 % (95. Perzentil) des TWI. Beim Vergleich der drei Szenarien ist die langfristige PFAS-Exposition durch den Verzehr von Eiern aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung am höchsten (8 - 11 % des TWI im 95. Perzentil).
- b) Bei Kindern übersteigt die langfristige Exposition gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern diejenige der Erwachsenen um etwa das Drei- bis Fünffache in allen Szenarien. Die langfristige Exposition der Kinder in Deutschland gegenüber der Summe der vier PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern liegt je nach betrachtetem Verzehrscenario im Bereich von 0,01 - 0,57 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil) und 0,02 - 2,00 ng/kg KG und Woche (95. Perzentil). Damit entspricht die Exposition 0,2 - 13 % (50. Perzentil) bzw. 0,5 - 45 % (95. Perzentil) des TWI. Analog zu den Erwachsenen ist die langfristige PFAS-Exposition der Kinder beim Vergleich der drei Szenarien durch den Verzehr von Eiern aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung am höchsten (33 - 45 % des TWI im 95. Perzentil).

3. Fazit

Aufgrund des ubiquitären Vorkommens von PFAS in der Umwelt und des Vorkommens in zahlreichen Verbraucherprodukten und in einer Reihe von Lebensmitteln setzt sich die Gesamtexposition aus vielen verschiedenen Expositionsquellen zusammen.

Die Expositionsschätzung anhand von drei hypothetischen Szenarien zeigt, dass der Verzehr von Hühnereiern – insbesondere aus Freilandhaltung bzw. ökologischer Erzeugung – einen wichtigen Beitrag zur Gesamtexposition gegenüber PFAS leisten kann. Bei ausschließlichem Bezug von Eiern aus einem Haltungssystem können diese Ergebnisse aber als realistische untere und obere Schätzungen der realen Exposition interpretiert werden.

Allerdings sind im Vergleich mit den aktuellen Gehalten die mittleren PFAS-Gehalte in Eiern aus allen Erzeugungsarten über die Jahre hinweg zurückgegangen. So liegen die mittleren PFAS-Gehalte in Hühnereiern im Rahmen des Datensatzes von 2007 - 2020 bei 0,36 µg/kg (95. Perzentil: 1,6 µg/kg), in den Jahren 2018 - 2022 bei 0,29 µg/kg (95. Perzentil: 1,00 µg/kg) und im Monitoring 2024 bei 0,06 µg/kg (95. Perzentil: 0,42 µg/kg). Dies entspricht einem vier- bis sechsfachem Rückgang der Gehalte an PFAS in Hühnereiern. Dabei ist der Rückgang der PFAS-Gehalte innerhalb der letzten Jahre (2018 - 2022 zu 2024) am

deutlichsten. Da im Vergleich zu Gehaltsdaten von 2018 - 2022 die Gehalte an PFAS in Hühnereiern, insbesondere in Eiern aus Boden- und Freilandhaltung, niedriger ausfallen, ergibt sich aktuell eine geringere Exposition für Erwachsene und Kinder: Während die auf den Gehaltsdaten von 2018 - 2022 basierende Expositionsschätzung den TWI für Kinder (Szenario 2: Freilandhaltung; 95. Perzentil, LB) um mehr als das Zweifache überschreitet, erreicht die Exposition auf Grundlage der Monitoringdaten aus dem Jahr 2024 (LB) maximal 45 % des TWI (Szenario 3, 95. Perzentil).

3 Begründung

3.1 Risikobewertung

3.1.1 Gefahrenidentifizierung und Gefahrencharakterisierung

PFAS sind eine große Gruppe von Industriechemikalien, die aufgrund ihrer besonderen technischen Eigenschaften (z. B. wasser-, fett- und schmutzabweisende Eigenschaften) in zahlreichen industriellen Prozessen und Verbraucherprodukten eingesetzt werden. PFAS sind schwer abbaubar, verbleiben daher lange Zeit in der Umwelt und können auch in der Nahrungskette und beim Menschen nachgewiesen werden. Nach der Aufnahme mit der Nahrung, mit Trinkwasser oder über andere Quellen können sich einige PFAS im menschlichen Körper anreichern, sodass auch eine geringe bzw. kurzfristige Aufnahme dieser Stoffe zu einer langfristig höheren Konzentration im Körper beitragen kann.

Im Jahr 2020 bewertete die EFSA verschiedene PFAS, wozu sowohl Perfluoralkylcarbonsäuren als auch Perfluoralkylsulfonsäuren gehören. Aufgrund ähnlicher Gefahrencharakterisierungen in Bezug auf Wirkungen im Tier, Toxikokinetik und beobachteten Gehalten im menschlichen Blut fokussierte sich EFSA im Rahmen der Risikobewertung auf die Summe der vier PFAS: PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS (EFSA-PFAS).

Als kritischen Effekt bewertete EFSA die in epidemiologischen Studien beobachteten Zusammenhänge zwischen den PFAS-Gehalten im Blut und verminderten Konzentrationen an Impfantikörpern bei Kindern. Auf dieser Basis leitete EFSA einen TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche für die vier EFSA-PFAS ab (EFSA 2020).

Detaillierte Informationen zur Gefahrenidentifizierung und Gefahrencharakterisierung sind der BfR-Stellungnahme „PFAS in Lebensmitteln: BfR bestätigt kritische Exposition gegenüber Industriechemikalien“ zu entnehmen (BfR 2021). Die Risikobewertung im Rahmen der vorliegenden Stellungnahme konzentriert sich auf die EFSA-PFAS, für deren Summe der gesundheitsbasierte Richtwert abgeleitet wurde.

3.1.2 Gefahrencharakterisierung

3.1.2.1 Gehaltsdaten

Zur Abschätzung der Exposition wurde ein vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) bereitgestellter Datensatz verwendet, welcher Daten aus dem Monitoring gemäß §§ 50-52 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) aus dem Jahr 2024 beinhaltet. Insgesamt besteht der Datensatz aus 762 Messungen von 17 verschiedenen PFAS Verbindungen in 69 Eierproben. Messungen, bei denen die Haltungsform nicht eindeutig einer der drei Gruppen „Bodenhaltung“, „Freilandhaltung“ und „Erzeugnis gemäß Öko-VO (EG)“ zugeordnet werden konnten, wurden ausgeschlossen. Dies betraf eine Probe

aus Volierenhaltung. Weiterhin wurde eine Probe ausgeschlossen, die nicht auf alle der vier oben genannten PFAS untersucht wurde. Insgesamt flossen somit 268 Messungen der vier PFAS aus 67 Proben in die Expositionsschätzung ein. Zudem erfolgte ein Vergleich der aktuellen Gehaltsdaten (2024) mit den Daten der Lebensmittelüberwachung der Jahre 2007 - 2020 (N = 26 Proben) (BfR 2021) sowie mit Gehaltsdaten aus 2018 - 2022, die von den Bundesländern übermittelt wurden (N = 181). Es ist darauf hinzuweisen, dass es zwischen den Datensätzen Unterschiede in der Datenerhebung geben kann, da sie teilweise Daten aus unterschiedlichen Überwachungsprogrammen enthalten.

Zur weiteren Auswertung wurde die Summe der vier PFAS gebildet. Mit Werten unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurde nach zwei verschiedenen Ansätzen verfahren. Im sogenannten „LB“-Ansatz wurden alle Werte unterhalb der Nachweis- bzw. der Bestimmungsgrenze durch 0 ersetzt. Die Verwendung dieses Ansatzes kann zu einer Unterschätzung der Gehalte und somit der resultierenden Exposition führen. Im „upper bound“ (UB) wurde wie folgt vorgegangen: Wenn mindestens einer der vier PFAS-Werte der Probe bestimmt werden konnte, wurden analog zum LB nur die bestimmten Werte aufsummiert und die anderen mit 0 berücksichtigt. Falls alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurde als Summe für die vier Stoffe der Wert der höchsten Bestimmungsgrenze zugeordnet. Dieses Vorgehen vermeidet, dass im Fall mehrerer zensierter Werte die Bestimmungsgrenzen mehrfach aufsummiert werden. Dies ist notwendig, da die Bestimmungsgrenzen zwar über die Jahre seit der BfR Stellungnahme 2021 niedriger geworden sind (Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Tabelle 13), jedoch teilweise nur bei dem jeweiligen gesetzlich festgelegten Höchstgehalt aus der Verordnung (EU) 2023/915 liegen. Die Ergebnisse der beiden Ansätze geben den Bereich wieder, in dem die tatsächlichen Gehalte mit hoher Wahrscheinlichkeit liegen.

PFAS-Gehalte basierend auf den Daten aus dem Monitoring 2024

Die Summengehalte der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) in Hühnereiern unter Verwendung des LB- bzw. UB-Ansatzes sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellt. Fast 60 % der Proben stammen aus Hühnereiern aus Freilandhaltung, 16 % aus Bodenhaltung und der Rest aus Erzeugnissen gemäß der Öko-VO.

Ein Vergleich mit Marktdaten (GfK 2016), die zur Erstellung der BfR-MEAL-Studie 2016 erhoben wurden, zeigt, dass Eier aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung demgegenüber im vorliegenden Datensatz überrepräsentiert sind. Dort lag der Marktanteil von Eiern aus Freilandhaltung bei 25,5 %, der aus Bodenhaltung bei 57,1 % und der von Eiern aus ökologischer Erzeugung bei 11,4 %. Die Verteilung der tatsächlichen Produktionsmengen für Eier in den letzten Jahren liegt ebenfalls im Bereich der letztgenannten Zahlen (Statista 2023).

Der Anteil an Gehalten, die sich oberhalb der Bestimmungsgrenze befinden, liegt für die Summe der vier PFAS insgesamt bei 24 %. Deutliche Unterschiede sind zwischen den Haltungformen sichtbar: In Eiern aus Bodenhaltung waren 9 % der Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze, während in Eiern aus Freilandhaltung bzw. ökologischer Erzeugung 20 bzw. 44 % der Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

Alle gemessenen Gehalte im Monitoring 2024 lagen unter dem gesetzlich festgesetzten Höchstgehalt (Verordnung (EU) 2023/915) von 1,7 µg/kg für die Summe der vier PFAS in

Eiern. Auch die entsprechenden Höchstgehalte für die vier Einzelverbindungen wurden nicht überschritten.

Statistisch belastbare Unterschiede in den Summengehalten der vier PFAS zeigen sich für das 95. Perzentil zwischen den Eiern aus Bodenhaltung im Vergleich zu Eiern aus Freilandhaltung bzw. ökologischer Erzeugung. Der Mittelwert der Summengehalte der vier PFAS in Eiern aus ökologischer Erzeugung liegt bei 0,09 µg/kg (LB) und für Eier aus Freilandhaltung bei 0,07 µg/kg (LB). Diese Gehalte liegen um ein Vielfaches höher als der mittlere Gehalt für Eier aus Bodenhaltung (0,001 µg/kg, LB). Die Unterschiede in den PFAS-Summengehalten (Mittelwert, LB) zwischen Eiern aus Bodenhaltung und Eiern aus Freilandhaltung bzw. ökologischer Erzeugung sind statistisch signifikant.

Ähnliche Unterschiede in Bezug auf die Haltungsformen zeigen sich im 95. Perzentil der Gehalte: Der Summengehalt der vier PFAS in Eiern aus Freilandhaltung ist mit 0,36 µg/kg höher als für Eier aus Bodenhaltung (0,01 µg/kg), während der Summengehalt von Erzeugnissen gemäß Öko-VO (0,49 µg/kg) noch höher liegt. Auch hier sind die Unterschiede in den Gehaltsdaten von Eiern aus Freilandhaltung oder Erzeugnissen gemäß Öko-VO signifikant unterschiedlich zu den Gehalten der Eier aus Bodenhaltung¹.

Die Unterschiede in den PFAS-Gehalten in Hühnereiern zwischen den Haltungsformen der Hennen zeigen, dass eine differenzierte Betrachtung in Hinblick auf die Haltungsform sinnvoll ist.

¹ Die Konfidenzintervalle wurden mithilfe eines nicht-parametrischen Bootstrap-Verfahrens bestimmt

Tabelle 1: Übersicht über die Summengehalte der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) in Hühnereiern (in µg/kg), unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (LB), aufgeschlüsselt nach Haltungform. Zum Vergleich sind die jeweiligen Mittelwerte (MW) sowie die 95. Perzentile (P95) aus drei Erhebungszeiträumen (2007 - 2020, 2018 - 2022, 2024) basierend auf den vom BVL übermittelten Daten aus den Überwachungsbehörden der Länder dargestellt.

Gruppe	2007-2020 ^a				2018-2022				2024			
	Gültige N	Gehalte oberhalb LOQ in %	PFAS-Gehalt, LB in µg/kg		Gültige N	Gehalte oberhalb LOQ in %	PFAS-Gehalt, LB in µg/kg		Gültige N	Gehalte oberhalb LOQ in %	PFAS-Gehalt ^d , LB in µg/kg	
			MW	P95			MW (95% KI)	P95 (95% KI)			MW (95% KI)	P95 (95% KI)
Alle	26	23	0,36	1,6	181	31	0,29 (0,12-0,55)	1,00 (0,40-2,30)	68 ^c	24	0,06 (0,03-0,1)	0,42 (0,22-0,57)
Bodenhaltung	n/a	n/a	n/a	n/a	55	9	0,05 (0 ^b -0,11)	0,20 (0 ^b -1,06)	11	9	0,001 (0 ^b -0,003)	0,01 (0 ^b -0,01)
Freilandhaltung	n/a	n/a	n/a	n/a	93	41	0,49 (0,16-0,97)	1,70 (0,50-6,99)	40	20	0,07 (0,02-0,12)	0,36 (0,23-0,62)
Erzeugnis gemäß Öko-VO (EG)	n/a	n/a	n/a	n/a	33	42	0,10 (0,05-0,16)	0,37 (0,24-0,65)	16	44	0,09 (0,02-0,18)	0,49 (0,08-0,57)

^a Basierend auf der BfR-Stellungnahme 2021 (BfR 2021), in der keine Differenzierung der PFAS-Gehalte nach Hühnereiern unterschiedlicher Haltungformen erfolgte (n/a)

^b Aufgrund des nicht-parametrischen Verfahrens und der geringen Anzahl von Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze ist die untere Grenze des Konfidenzintervalls (KI) gleich 0.

^c Eine Probe erfolgte in Eiern aus Volierenhaltung und wird im Weiteren nicht weiter berücksichtigt.

^d Höchstgehalt laut Verordnung (EU) 2023/915 Summe PFAS (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) in Eiern: 1,7 µg/kg.

Tabelle 2: Übersicht über die Summengerhalte der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) in Hühnereiern (in µg/kg), unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (UB), aufgeschlüsselt nach Haltungform. Zum Vergleich sind die jeweiligen Mittelwerte (MW) sowie die 95. Perzentile (P95) aus drei Erhebungszeiträumen (2007 - 2020, 2018 - 2022, 2024) basierend auf den vom BVL übermittelten Daten aus den Überwachungsbehörden der Länder dargestellt.

Gruppe	2007-2020 ^a				2018-2022				2024			
	Gültige N	Gehalte oberhalb LOQ in %	PFAS-Gehalt, UB in µg/kg		Gültige N	Gehalte oberhalb LOQ in %	PFAS-Gehalt, UB in µg/kg		Gültige N	Gehalte oberhalb LOQ in %	PFAS-Gehalt ^c , UB in µg/kg	
			MW	P95			MW (95% KI)	P95 (95% KI)			MW (95% KI)	P95 (95% KI)
Alle	26	23	0,86	n/a	181	31	0,64 (0,47-0,88)	2,00 (1,00-2,30)	68 ^b	24	0,21 (0,17-0,24)	0,42 (0,3-0,57)
Bodenhaltung	n/a	n/a	n/a	n/a	55	9	0,57 (0,41-0,74)	2,00 (1,00-2,00)	11	9	0,17 (0,10-0,24)	0,30 (0,25-0,30)
Freilandhaltung	n/a	n/a	n/a	n/a	93	41	0,78 (0,44-1,25)	1,70 (1,00-6,99)	40	20	0,24 (0,20-0,28)	0,36 (0,30-0,62)
Erzeugnis gemäß Öko-VO (EG)	n/a	n/a	n/a	n/a	33	42	0,36 (0,22-0,53)	1,00 (1,00-2,00)	16	44	0,16 (0,10-0,24)	0,49 (0,20-0,57)

^a Basierend auf der BfR-Stellungnahme 2021 (BfR 2021), in der keine Differenzierung der PFAS-Gehalte nach Hühnereiern unterschiedlicher Haltungformen erfolgte (n/a)

^b Eine Probe erfolgte in Eiern aus Volierenhaltung und wird im Weiteren nicht weiter berücksichtigt.

^c Höchstgehalt laut Verordnung (EU) 2023/915 Summe PFAS (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) in Eiern: 1,7 µg/kg.

Unter Verwendung des UB-Ansatzes sind kaum Unterschiede zwischen den Summengehalten der vier PFAS in Eiern der jeweiligen Haltungsformen der Hennen sichtbar (Tabelle 2). Die PFAS-Summengehalte von Hühnereiern gemäß Öko-VO sind etwas geringer mit 0,16 µg/kg im Vergleich zu 0,24 µg/kg für Eier aus Freilandhaltung und 0,17 µg/kg für Eier aus Bodenhaltung. Die geringen Unterschiede in den Gehalten unter Nutzung des UB-Ansatzes lassen sich durch die ähnlichen Nachweis- und Bestimmungsgrenzen in Kombination mit dem hohen Anteil von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze erklären. So erhalten die Proben mit Gehalten unterhalb der Bestimmungsgrenze in diesem Fall unabhängig von der Haltungsform den gleichen Wert, womit die Unterschiede zwischen den Haltungsformen geringer werden.

Vergleich der PFAS-Gehalte in Hühnereiern mit Datensätzen aus früheren Untersuchungen

Ein Vergleich der Daten zu PFAS-Gehalten in Hühnereiern aus dem Monitoring 2024 mit Daten aus einem von den Bundesländern zur Verfügung gestellten Datensatz der Jahre 2018 - 2022 und Daten der Lebensmittelüberwachung aus den Jahren 2007 - 2020 (BfR 2021) ist möglich.

Obwohl die Auswertung 2021 nicht getrennt nach Haltungsform erfolgte, stammten alle Proben aus Boden- und Freilandhaltung. Im Vergleich mit den aktuellen Gehalten sind die mittleren PFAS-Gehalte aller Erzeugungsarten über die Jahre hinweg zurückgegangen. So liegen die mittleren PFAS-Gehalte in Hühnereiern im Rahmen des Datensatzes von 2007 - 2020 bei 0,36 µg/kg (95. Perzentil: 1,6 µg/kg), in den Jahren 2018 - 2022 bei 0,29 µg/kg (95. Perzentil: 1,00 µg/kg) und im Monitoring 2024 bei 0,06 µg/kg (95. Perzentil: 0,42 µg/kg). Dies entspricht einem vier- bis sechsfachen Rückgang der Gehalte an PFAS in Hühnereiern. Dabei ist der Rückgang der PFAS-Gehalte innerhalb der letzten Jahre (2018 - 2022 zu 2024) am deutlichsten. Die niedrigeren PFAS-Gehalte können sowohl mit der Verbesserung der Bestimmungsgrenzen zusammenhängen (Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Tabelle 13), als auch mit den Unterschieden in der Datenerhebung und den 2023 in Kraft getretenen Höchstgehalten von PFAS in Hühnereiern (Verordnung (EU) 2023/915).

3.1.2.2 Verzehrsdaten

Die Nationale Verzehrstudie II (NVS II) bildet den Lebensmittelverzehr bei Erwachsenen ab, während die Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehrs, kurz „KIESEL“-Studie, den Lebensmittelverzehr bei Kindern abbildet.

Beide Verzehrstudien werden im Folgenden kurz erläutert: Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehrs von Eiern durch Erwachsenen dient die NVS II des Max-Rubner-Institutes (MRI). Die NVS II ist die zurzeit aktuellste repräsentative Studie zum Verzehr durch die Bevölkerung in Deutschland. Die Studie, bei der etwa 20.000 Personen im Alter zwischen 14 und 80 Jahren mittels drei verschiedener Erhebungsmethoden (Dietary History, 24h-Recall und Wiegeprotokoll) zu ihrem Ernährungsverhalten befragt wurden, fand zwischen 2005 und 2006 in ganz Deutschland statt (MRI 2008a, b).

Die hier verwendeten Verzehrauswertungen (Tabelle 3) beruhen auf den Daten der „Dietary History“-Interviews der NVS II, die mit Hilfe des Programms „DISHES 05“ erhoben wurden. Mit der „Dietary History“-Methode wurden 15.371 Personen befragt, und ihr üblicher Verzehr in den vorangegangenen vier Wochen wurde retrospektiv erfasst. Sie liefert Schätzungen für die langfristige Aufnahme von Stoffen, wenn Lebensmittel in Kategorien

zusammengefasst werden oder Lebensmittel betrachtet werden, die einem regelmäßigen Verzehr unterliegen. Für Eier wird davon ausgegangen, dass die „Dietary History“-Interviews eine gute Beschreibung des langfristigen Verzehrs liefern. Die Verzehrdatenauswertungen wurden im Rahmen des vom BMUV (heute BMUKN genannt) finanzierten Projektes „LExUKon“ (Blume et al. 2010) am BfR durchgeführt. Dabei wurden für die Berechnung der Verzehrmenngen alle protokollierten Rezepte/Gerichte und nahezu alle zusammengesetzten Lebensmittel in ihre unverarbeiteten Einzelbestandteile aufgeschlüsselt und gegebenenfalls Verarbeitungsfaktoren berücksichtigt. Somit sind alle relevanten Verzehrmenngen eingeflossen. Die Rezepte sind größtenteils mit Standardrezepturen hinterlegt und berücksichtigen somit keine Variation in der Zubereitung/Herstellung und den daraus folgenden Verzehrmenngen.

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehrs von Hühnereiern durch Kinder dient die KiESEL-Studie. Die Studie war als Modul an die „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ („KiGGS Welle 2“) des RKI gekoppelt. An KiESEL nahmen insgesamt 1104 Kinder im Alter von 6 Monaten bis einschließlich 5 Jahren teil. Anhand eines Interviews füllten die Erziehungsberechtigten einen Fragebogen zur allgemeinen Ernährung, Ernährung im 1. Lebensjahr sowie einen Food Propensity Questionnaire zu selten verzehrten Lebensmitteln aus. Davon haben 1008 Kinder bzw. deren Eltern auch an der Ernährungserhebung mittels Wiege-/Schätzprotokoll teilgenommen. Der Lebensmittelverzehr bei Kindern wurde in einem Wiegeprotokoll für drei aufeinanderfolgende Tage und in einem 1-Tages-Wiegeprotokoll an einem unabhängigen Tag dokumentiert. Ergänzend wurde der Außer-Haus-Verzehr (z. B. in den Betreuungseinrichtungen) mit Hilfe eines reduzierten Schätzprotokolls erfasst (Nowak et al. 2022).

Für die Expositionsschätzung wurde der Gesamtverzehr von Hühnereiern, inklusive Gerichten aus Hühnereiern (aber keine Anteile in industriellen hergestellten Kuchen etc.), berücksichtigt. Da Kinder im Alter von 6 und 14 Jahren hinsichtlich ihrer Exposition bezogen auf ihr Körpergewicht zwischen den Kleinkindern der KiESEL Studie und den Erwachsenen (14-65+ Jahre) liegen, wurde keine separate Expositionsschätzung durchgeführt und es kann davon ausgegangen werden, dass diese im Bereich der hier dargestellten Altersgruppen liegen.

Verzehrunterschiede nach Haltungsform

Aufgrund der speziellen Ausrichtung der Methodik der Verzehrerhebung auf Expositionsfragestellungen, lassen die im BfR erhobenen Verzehrdaten aus KiESEL Auswertungen auf Ebene der protokollierten einzelnen Verzehrereignisse zu, ob sich der Verzehr von Hühnereiern nach Haltungsform unterscheidet bzw. ob Eier aus biologischer oder konventioneller Haltung verzehrt wurden. Zu jedem Lebensmittel wurde eine Zusatzfrage gestellt, ob dieses aus ökologischer oder konventioneller Haltung war. Da diese Frage nicht spezifisch für Eier formuliert ist, ist hierbei keine Differenzierung weiterer Haltungsformen möglich. Diese Information ist jedoch zumindest bei einigen Probanden im Freitextfeld zur Beschreibung der verzehrten Lebensmittel erfasst und wurde deshalb zusätzlich ausgewertet. Somit wurden zwei verschiedene Auswertungen vorgenommen:

- Unterschiede, je nachdem ob im Tagebuch die Spalte „Bio“ angekreuzt war oder nicht

- Auswertung des Freitextfelds zur Lebensmittelangabe, ob dort die Haltungsform angegeben war oder nicht

Die erste Methode hat den Vorteil, dass für jedes Verzehrereignis eine Angabe vorhanden ist. Eine genaue Zuordnung zu den Kategorien der Gehaltsdaten (Bodenhaltung/ Freilandhaltung) ist jedoch nicht möglich. Die Informationen aus dem Freitextfeld ermöglichen hingegen eine Zuordnung zu allen auch in den Gehaltsdaten abgebildeten Haltungsformen. Da diese jedoch nicht systematisch abgefragt wurden, beinhaltet die Freitextbezeichnung bei einem großen Anteil der Verzehrereignisse von Eiern (60 %) keine Information zur Haltungsform.

Dieser Vergleich ist in Tabelle 4 dargestellt. Hier wurde der Hühnereierverzehr von allen Kindern nach Haltungsform bzw. angekreuztem Feld „Bio“ gruppiert. Insgesamt haben an den 4 Protokolltagen 313 Kinder Eier oder Gerichte mit Eiern verzehrt. Wenn ein Kind mehrere Verzehrereignisse hatte, die unterschiedlichen Haltungsformen zuzuordnen waren, wurden diese in jeder der entsprechenden Gruppe je 1x berücksichtigt, so dass die Summe der Nennungen in Tabelle 4 mehr als 313 ergibt. 25 % der Kinder, die Eier verzehrt haben, haben mindestens einmal auch Bio-Eier verzehrt. Von den Verzehrereignissen, bei denen auch Informationen zur Haltungsform aus dem Freitextfeld verfügbar waren, haben sogar 31 % mindestens 1x Eier aus ökologischer Haltung verzehrt, 47 % der Verzehrereignisse sind Bodenhaltung zuzuordnen und 22 % Freilandhaltung.

Über die Haltungsformen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in der Verzehrmenge: Der mediane Verzehr in der Gruppe „Freilandhaltung“ ist mit 0,89 g/kg KG und Tag zwar höher als in der Gruppe „Bodenhaltung“ (0,68 g/kg KG und Tag) und der Gruppe „Erzeugnis gemäß Öko-VO“ (0,58 g/kg KG und Tag), da aber die Konfidenzintervalle überlappen, ist dieser Unterschied nicht statistisch signifikant. Im Falle von Vielverzehr (dargestellt durch das 95. Perzentil) liegt der Verzehr von Eiern aus Bodenhaltung mit 1,23 g/kg KG und Tag unterhalb des Verzehrs aus Freilandhaltung (2,03 g/kg KG und Tag) bzw. ökologischer Erzeugung (2,48 g/kg KG und Tag). Auch hier sind aufgrund des Überlappens der Konfidenzintervalle die Unterschiede nicht statistisch signifikant. Die Gruppe der Verzehrereignisse, für welche keine Zuordnung der Haltungsform über das Freitextfeld möglich war, zeigte tendenziell die höchsten Verzehrsmengen, die jedoch ebenfalls nicht signifikant verschieden zu allen Haltungsformen war.

Auch die Auswertung nach der im Tagebuch angekreuzten Spalte „Bio“ zeigt nur geringe Unterschiede: Die Mediane liegen bei 0,74 g/kg KG und Tag („Ja“) bzw. 0,85 g/kg KG und Tag („Nein“) mit überlappenden Konfidenzintervallen. Dies ist auch im 95. Perzentil der Fall, welches im Fall von „Ja“ bei 3,37 g/kg KG und Tag liegt und im Fall von „Nein“ bei 2,67 g/kg KG und Tag.

Tendenziell liegt der Verzehr von Hühnereiern konventioneller Haltungsform unterhalb des Verzehrs von ökologischer Haltungsform bzw. Freilandhaltung. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Aufgrund dessen und der Tatsache, dass die Haltungsform nach Freitextfeld für die meisten Verzehrereignisse nicht zugeordnet werden konnte, wird für die folgenden Auswertungen auf Seiten des Verzehrs nicht nach Haltungsform unterschieden. Unabhängig davon ist dies bei den Erwachsenen aufgrund fehlender Differenzierung in der NVS II nicht möglich.

Tabelle 3: Langfristiger Verzehr von Hühnereiern durch Erwachsene auf Basis der NVS-II Studie: Dargestellt sind der Mittelwert (MW), Median (P50) sowie das 95. Perzentil (P95) für alle Erwachsenen sowie differenziert nach Geschlecht.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer/ alle Befragten	Verzehr in g/kg KG und Tag		
		MW	P50	P95
Gesamt	15.250/15.371	0,314	0,253	0,787
Männlich	7.558/7.613	0,325	0,257	0,848
Weiblich	7.692/7.758	0,302	0,249	0,743

Tabelle 4: Langfristiger Verzehr von Hühnereiern durch Kinder auf Basis der KiESEL-Studie unterschieden nach Erzeugungsart und Haltungform der Hühner. Dargestellt sind der Mittelwert (MW), Median (P50) sowie das 95. Perzentil (P95). Kinder mit Verzehrereignissen in mehreren Gruppen kommen entsprechend des jeweiligen Verzehrs in allen passenden Gruppen vor. Damit ergibt sich in der Summe über alle Haltungformen eine höhere Anzahl der Verzehrereignisse, als die Anzahl der Kinder, die Eier verzehrt haben.

Kinder	Gültige N	Verzehr in g/kg KG und Tag			
		MW (95 % KI ^a)	P50 (95 % KI ^a)	P95 (95 % KI ^a)	
Gesamt	313 ^b	1,14 (1,04- 1,25)	0,88 (0,78- 0,94)	3,11 (2,53- 4,27)	
Haltungsform nach Freitextfeld	Keine Angabe	212	1,14 (1,03-1,27)	0,89 (0,82-0,94)	3,37 (2,57-4,00)
	Bodenhaltung	66	0,76 (0,66-0,87)	0,68 (0,66-0,91)	1,23 (0,99-2,06)
	Freilandhaltung	31	0,99 (0,86-1,13)	0,89 (0,67-1,04)	2,03 (1,43-2,50)
	Erzeugnis gemäß Öko-VO (EG)	44	0,83 (0,65-1,04)	0,58 (0,49-0,74)	2,48 (1,32-3,05)
Biologisch angekreuzt	Ja	87	1,02 (0,85-1,20)	0,74 (0,65-0,80)	3,37 (2,01-3,37)
	Nein	267	1,02 (0,92-1,13)	0,85 (0,78-0,91)	2,67 (1,93-3,28)

^a Die Konfidenzintervalle (KI) wurden mithilfe eines nicht-parametrischen Bootstrap-Verfahrens bestimmt.

^b Die Summe der Anzahl Teilnehmer, die Eier verzehrt haben, variiert, da Kinder, die sowohl Bio Eier als auch Eier aus anderen Haltungformen konsumiert haben, in beiden Gruppen gezählt wurden.

3.1.2.3 Exposition

Zur Schätzung der Exposition gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern werden drei Szenarien betrachtet. In jedem dieser drei Szenarien wird angenommen, dass der gesamte Eierverzehr dem Verzehr von Eiern ausschließlich einer Haltungform (Bodenhaltung, Freilandhaltung oder ökologische Erzeugung) entspricht. Damit wird die maximal mögliche Spanne der jeweiligen Expositionen durch den Verzehr von Hühnerei aus verschiedenen Haltungformen dargestellt. In der Realität werden nicht alle Verbrauchende ausschließlich Hühnereier einer Haltungform verzehren, da u. a. für industriell hergestellte Produkte mit Hühnereianteil nur eine geringe Kontrollmöglichkeit für die Verbrauchenden existiert.

Die Expositionsschätzung erfolgte, indem der langfristige Verzehr unter Berücksichtigung des individuellen Körpergewichts (bestimmt als Mittelwert aller Erhebungstage im Falle von

KiESEL bzw. direkte Erhebung in der NVS-II-DISHES) mit dem jeweiligen mittleren Summengehalt der vier PFAS in Hühnereiern der entsprechenden Haltungsformen multipliziert wurde. Von der sich ergebenden Verteilung wurden im Anschluss der Median und das 95. Perzentil dargestellt. Weiterhin wurden mögliche Unterschiede nach Geschlecht, und im Falle der KiESEL-Studie auch nach Altersgruppe dargestellt. In den Expositionsschätzungen wurden ausschließlich die Teilnehmenden an den Verzehrstudien berücksichtigt, die im Beobachtungszeitraum Hühnerei verzehrt hatten.

In den folgenden Abschnitten werden nur die Szenarien mit Gehalten basierend auf dem LB-Ansatz betrachtet. Da die PFAS-Gehalte zu einem hohen Prozentsatz unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegen und die Bestimmungsgrenzen tendenziell immer noch hoch sind, ist davon auszugehen, dass die Schätzungen im UB-Ansatz deutlich stärker nach oben abweichen als im LB-Ansatz nach unten. Demzufolge führt die Expositionsschätzung mit dem LB-Ansatz zu einer realistischeren Einschätzung der Exposition gegenüber PFAS im Vergleich zum UB-Ansatz (BfR 2021; EFSA 2020). Die entsprechenden Tabellen der Expositionsschätzung auf Basis der Gehalte unter Verwendung des UB-Ansatzes befinden sich im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Die geschätzte langfristige Exposition für **Erwachsene** in Deutschland gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern ist in Tabelle 5 für Eier aus Bodenhaltung (Szenario 1), in Tabelle 6 für Eier aus Freilandhaltung (Szenario 2) und in Tabelle 7 für Eier aus ökologischer Erzeugung (Szenario 3) dargestellt. Bedingt durch die Unterschiede in den Gehalten, zeigt das Szenario 1: Bodenhaltung die niedrigste Exposition gegenüber PFAS mit einer langfristigen Exposition von 0,002 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil). Im Szenario 2: Freilandhaltung ergab sich eine langfristige Exposition gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern von 0,12 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil) und im Szenario 3: ökologische Erzeugung eine langfristige Exposition von 0,16 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil). Aufgrund der höheren Gehalte an PFAS in Eiern aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung liegen auch die entsprechenden geschätzten Expositionen der Szenarien 2 und 3 über der Exposition im Szenario 1. Die Expositionsunterschiede zwischen den Szenarien werden auch im 95. Perzentil deutlich. Beim Vergleich der geschätzten langfristigen Exposition der beiden Geschlechter zeigen sich kaum Unterschiede.

Im zeitlichen Vergleich ergibt sich analog der Gehaltsdaten auch für die PFAS-Expositionen von Erwachsenen für alle Erzeugungsarten eine niedrigere PFAS-Exposition von 0,64 ng/kg KG (Erhebungszeitraum 2007 - 2020), über 0,51 ng/kg KG (Erhebungszeitraum 2018 - 2022) bis zu 0,11 ng/kg KG (Erhebungszeitraum 2024, Anhang 5.3, Tabelle 20). Beim Vergleich der geschätzten langfristigen Exposition gegenüber PFAS auf Basis von Gehaltsdaten aus dem Erhebungszeitraum 2018 - 2022 mit denen basierend auf den Monitoringdaten 2024 ergeben sich unter Berücksichtigung der Erzeugungsart für Eier aus Boden- und Freilandhaltung für die aktuelleren Daten niedrigere Expositionen (50. Perzentil), während die PFAS-Expositionen durch den Verzehr von Eiern aus ökologischer Erzeugung vergleichbar sind (Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7).

Tabelle 5: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Bodenhaltung** unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	0,11	0,09	0,28	0,002
Männlich	7.558	0,11	0,09	0,30	0,002	0,002	0,005
Weiblich	7.692	0,11	0,09	0,26	0,002	0,002	0,005

Tabelle 6: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Freilandhaltung** unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	1,08	0,87	2,72	0,14
Männlich	7.558	1,12	0,89	2,93	0,15	0,12	0,39
Weiblich	7.692	1,04	0,86	2,57	0,14	0,11	0,34

Tabelle 7: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **ökologischer Erzeugung** unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	0,22	0,18	0,56	0,20
Männlich	7.558	0,23	0,18	0,60	0,21	0,17	0,54
Weiblich	7.692	0,21	0,18	0,53	0,19	0,16	0,48

Die geschätzte langfristige Exposition für **Kinder** gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern ist in Tabelle 8 für Eier aus Bodenhaltung (Szenario 1), in Tabelle 9 für Eier aus Freilandhaltung (Szenario 2) und Tabelle 10 für Eier aus ökologischer Erzeugung (Szenario 3) dargestellt. Wie bei den Erwachsenen ist die langfristige Exposition gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern im Szenario 1: Bodenhaltung am niedrigsten (0,01 ng/kg KG und Woche, 50. Perzentil) und im Szenario 2: Freilandhaltung (0,41 ng/kg KG und Woche, 50. Perzentil) und Szenario 3: ökologische Erzeugung (0,57 ng/kg KG und Woche, 50. Perzentil) am höchsten. Die Expositionsunterschiede zwischen den Szenarien werden auch im 95. Perzentil deutlich und basieren ausschließlich auf den Unterschieden in den Gehalten an PFAS in den Eiern der jeweiligen Haltungsformen.

Unterschiede zwischen den Altersgruppen und den Geschlechtern werden im Folgenden anhand des Szenarios 3: ökologische Erzeugung betrachtet. Im Gegensatz zu den Erwachsenen gibt es bei Kindern Unterschiede in der geschätzten Exposition zwischen den Geschlechtern. So haben Mädchen eine höhere Exposition als Jungen, was sich vor allem im 95. Perzentil zeigt. Im Szenario 3: ökologische Erzeugung liegt die geschätzte PFAS-Exposition bei 2,74 ng/kg KG und Woche für Mädchen und bei 1,56 ng/kg KG und Woche für Jungen.

Die Altersgruppe der 0,5 - < 1-jährigen Kinder wird nicht aufgeführt, da die Anzahl der Kinder, die Hühnereier verzehren in dieser Altersgruppe zu gering für eine belastbare Auswertung ist (n = 1 nach Gewichtung). Von den drei betrachteten Altersgruppen weisen Kinder im Alter von 1 - < 2 Jahren die höchste PFAS-Exposition durch den Verzehr von Hühnereiern mit 0,7 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil) auf, gefolgt von den 2 - < 3-jährigen Kindern mit einer Exposition von 0,65 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil). In der Gruppe der über 3-jährigen beträgt die langfristige Exposition gegenüber PFAS durch den Verzehr von Eiern 0,54 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil). Dies spiegelt den abnehmenden auf das Körpergewicht bezogenen Verzehr bei Kindern mit zunehmendem Alter wider. Dieser Trend ist im 95. Perzentil nicht klar ersichtlich, was mit den vergleichsweise geringen Stichprobengrößen in den jüngeren Altersgruppen zu erklären ist.

Beim Vergleich der geschätzten langfristigen Exposition gegenüber PFAS auf Basis von Gehaltsdaten aus dem Erhebungszeitraum 2018 - 2022 mit denen basierend auf den Monitoringdaten 2024 ergeben sich unter Berücksichtigung der Erzeugungsart für Eier aus Boden- und Freilandhaltung für die aktuelleren Daten niedrigere Expositionen (50. Perzentil), während die PFAS-Expositionen durch den Verzehr von Eiern aus ökologischer Erzeugung vergleichbar sind (Tabelle 8, Tabelle 9, Tabelle 10).

Tabelle 8: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Bodenhaltung** unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer *	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	316	0,40	0,31	1,10	0,01
Männlich	153	0,37	0,28	0,86	0,01	0,01	0,02
Weiblich	164	0,43	0,32	1,51	0,01	0,01	0,03
1-<2 Jahre	38	0,48	0,38	1,48	0,01	0,01	0,03
2-<3 Jahre	58	0,37	0,36	0,74	0,01	0,01	0,01
>=3 Jahre	219	0,40	0,29	1,11	0,01	0,01	0,02

*Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die Summe der gültigen N über die Geschlechts- oder Altersgruppen von der Gesamtzahl abweicht.

Tabelle 9: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Freilandhaltung** unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer *	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	316	3,94	3,07	10,74	0,52
Männlich	153	3,65	2,75	8,39	0,49	0,37	1,12
Weiblich	164	4,21	3,13	14,75	0,56	0,42	1,96
1-<2 Jahre	38	4,68	3,74	14,44	0,62	0,50	1,92
2-<3 Jahre	58	3,62	3,50	7,24	0,48	0,47	0,96
>=3 Jahre	219	3,90	2,88	10,85	0,52	0,38	1,44

*Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die Summe der gültigen N über die Geschlechts- oder Altersgruppen von der Gesamtzahl abweicht.

Tabelle 10: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **ökologischer Erzeugung** unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer *	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	316	0,81	0,63	2,20	0,73
Männlich	153	0,75	0,56	1,72	0,68	0,51	1,56
Weiblich	164	0,86	0,64	3,02	0,78	0,58	2,74
1-<2 Jahre	38	0,96	0,77	2,96	0,87	0,70	2,69
2-<3 Jahre	58	0,74	0,72	1,48	0,67	0,65	1,35
>=3 Jahre	219	0,80	0,59	2,22	0,73	0,54	2,02

*Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die Summe der gültigen N über die Geschlechts- oder Altersgruppen von der Gesamtzahl abweicht.

Die in der Zuarbeit verwendeten Verzehrstudien stammen aus den Jahren 2005 (NVS-II) bzw. 2016 (KiESEL). Während die Daten aus der KiESEL-Studie vergleichsweise aktuell sind, ist dies bei der NVS-II nicht der Fall. Es ist möglich, dass sich der Eierverzehr seit Durchführung der Studie verändert hat. Im Falle der Kinder zeigt ein Vergleich mit der vorigen VELS-Studie, dass der Eierverzehr (ohne industriell verarbeitete Eier), abhängig von der Altersgruppe, um 22 - 45 % zugenommen hat (Kolbaum et al. 2023). Sollte ein ähnlicher Trend bei den Erwachsenen vorliegen, würden die hier dargestellten Daten die Exposition unterschätzen.

Bei der Analyse der Verzehrdaten wurde bei der KiESEL-Studie auch der Verzehr von eihaltigen Gerichten berücksichtigt. Diese enthalten auch Gerichte, die zwar überwiegend aus Ei bestehen wie z. B. Omelette, welche aber auch weitere Lebensmittelanteile haben, die nicht in allen Fällen herausgerechnet werden konnten. Dies führt zu einer geringfügigen Überschätzung der Exposition. Gleichzeitig gibt es auch eihaltige Gerichte, die unberücksichtigt blieben, da sie nicht zu überwiegenden Teilen aus Ei bestanden, aber eine Aufschlüsselung in Einzelzutaten in der vorgegebenen Zeit nicht möglich war. Es wird allerdings davon ausgegangen, dass der Effekt auf die Verzehrmenge gering ist.

Die Annahme in den drei Szenarien, dass der Verzehr zu 100 % aus Eiern einer der drei Haltungsformen besteht, ist in der Realität nicht immer so abgebildet. Wenn beispielsweise eine Person nicht zu 100 %, aber überwiegend Eier aus Freilandhaltung verzehrt, würde der Verzehr von Eiern aus Bodenhaltung zu einer geringeren Exposition führen. Ein umgekehrter Effekt würde bei einer Person auftreten, die überwiegend Eier aus Bodenhaltung verzehrt. Ebenso kann die Haltungsform industriell verarbeiteter Eier oft nicht in der Kaufentscheidung der Verbraucher berücksichtigt werden. Insofern stellen die Szenarien den Bereich möglicher Expositionen dar, und die Aufnahmemengen liegen entsprechend des individuell gewählten Verhältnisses und des Anteiles industriell verarbeiteter Eier aus Freiland-/ Öko-/ Bodenhaltung zwischen diesen Schätzungen.

Mit den für den vorliegenden Datensatz verwendeten analytischen Nachweismethoden für PFAS liegen die Gehalte für die Summe aus PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS in Hühnereiern zu einem hohen Prozentsatz (76 %) unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Dies führt zu großen Unsicherheiten in den Expositionsschätzungen. Eine Absenkung der Bestimmungsgrenzen sollte auch weiterhin erfolgen, um aufzuklären, ob der hohe Anteil der nicht quantifizierten Werte eher auf ein Nicht-Vorkommen von PFAS in den untersuchten Lebensmitteln zurückzuführen ist (Annahme, die beim LB-Ansatz getroffen wurde) oder ob bei geringeren Nachweisgrenzen der Anteil bestimmbarer Werte und damit die Exposition signifikant ansteigt.

Bei den Gehaltsdaten wurden Messungen ausgeschlossen, bei denen die Probenahmegründe eine nicht-repräsentative Probenahme nahelegen, dies ist der Fall bei der Datenauswertung von 2018 - 2022. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass dennoch Proben mit risikoorientierter Probenahme in diesem Datensatz vorhanden sind, was tendenziell zu einer Überschätzung der Exposition führen würde. Die Daten aus dem Jahr 2024 stammen aus zufällig gezogenen Proben aus dem Lebensmittelmonitoring.

3.1.3 Risikocharakterisierung

Zur Charakterisierung möglicher gesundheitlicher Risiken durch die Exposition gegenüber PFAS aus Hühnereiern wurden die in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgeführten modellhaften Expositionsschätzungen des von der EFSA abgeleiteten TWI von 4,4 Nanogramm (ng) pro Kilogramm (kg) Körpergewicht und Woche für die Summe von vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) gegenübergestellt (EFSA 2020). Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 (LB) und Kapitel 5.4, Tabelle 24 (UB) zusammengefasst.

Für **Erwachsene** liegt die basierend auf den Gehaltsdaten aus dem Monitoring 2024 abgeschätzte langfristige Exposition gegenüber der Summe der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) durch den Verzehr von Hühnereiern unterschiedlicher Haltungsformen im Bereich von 0,002 - 0,17 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil, LB). Damit erreicht die geschätzte Exposition 0,05 - 4 % (50. Perzentil, LB) des TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche (Tabelle 11). Die hohe geschätzte Exposition erreicht 0,1 - 11 % (95. Perzentil, LB) des TWI. Die langfristige PFAS-Exposition der Erwachsenen ist beim Vergleich der drei Szenarien für den Verzehr von Eiern aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung am höchsten (8 - 11 % des TWI im 95. Perzentil).

Bei **Kindern** übersteigt die langfristige Exposition gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern diejenige der Erwachsenen um etwa das Drei- bis Fünffache in allen Szenarien. Die langfristige Exposition der Kinder in Deutschland (alle) gegenüber der Summe der vier PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern liegt bei Betrachtung unterschiedlicher Haltungsformen im Bereich von 0,01 - 0,57 ng/kg KG und Woche (50. Perzentil) und 0,02 - 2,00 ng/kg KG und Woche (95. Perzentil). Damit entspricht die Exposition 0,2 - 13 % (50. Perzentil) bzw. 0,5 - 45 % (95. Perzentil) des TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche (Tabelle 11). Analog zu den Erwachsenen, ist die langfristige PFAS-Exposition der Kinder beim Vergleich der drei Szenarien durch den Verzehr von Eiern aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung am höchsten (33 - 45 % des TWI im 95. Perzentil).

Der Vergleich verfügbarer Daten zeigt, dass die mittleren PFAS-Gehalte in Eiern aus allen Erzeugungsarten über die Jahre hinweg zurückgegangen sind. So liegen die mittleren PFAS-Gehalte in Hühnereiern im Rahmen des Datensatzes von 2007 - 2020 bei 0,36 µg/kg (95.

Perzentil: 1,6 µg/kg), in den Jahren 2018 - 2022 bei 0,29 µg/kg (95. Perzentil: 1,00 µg/kg) und im Monitoring 2024 bei 0,06 µg/kg (95. Perzentil: 0,42 µg/kg). Dies entspricht einem vier- bis sechsfachem Rückgang der Gehalte an PFAS in Hühnereiern. Dabei ist der Rückgang der PFAS-Gehalte innerhalb der letzten Jahre (2018 - 2022 zu 2024) am deutlichsten. Da im Vergleich zu Gehaltsdaten von 2018 - 2022 die Gehalte an PFAS in Hühnereiern, insbesondere in Eiern aus Boden- und Freilandhaltung, niedriger ausfallen, ergibt sich aktuell eine geringere Exposition für Erwachsene und Kinder: Während die basierend auf den Gehaltsdaten von 2018 - 2022 abgeschätzte Exposition den TWI für Kinder (Szenario 2: Freilandhaltung; 95. Perzentil, LB) um mehr als das Zweifache überschreitet, erreicht die Exposition auf Grundlage der Monitoringdaten aus dem Jahr 2024 (LB) maximal 45 % des TWI (Szenario 3, 95. Perzentil).

Tabelle 11: Geschätzte Exposition über den Verzehr von Hühnereiern verschiedener Haltungsformen im Vergleich zum TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche (EFSA 2020) für die Summe der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) für verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands und unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes. Zum Vergleich ist die jeweilige mediane (P50) und hohe (95. Perzentil, P95) Exposition basierend auf den Gehaltsdaten zweier Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Gruppe	% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022						% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2024					
	Bodenhaltung		Freilandhaltung		Ökologische Erzeugung		Bodenhaltung		Freilandhaltung		Ökologische Erzeugung	
	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95
Erwachsene ^a 14 - 80 Jahre	2	6	20	62	4	13	0,05	0,1	3	8	4	11
Kinder ^b 0,5 - ≤ 5 Jahre	7	25	70	244	14	50	0,2	0,5	9	33	13	45

^a Zugrundeliegende Verzehrstudie: NVS-II

^b Zugrundeliegende Verzehrstudie: KIESEL

Fazit

Die Expositionsschätzung zeigt, dass der Verzehr von Hühnereiern – insbesondere aus Freilandhaltung bzw. ökologischer Erzeugung – einen signifikanten Beitrag zur Gesamtexposition gegenüber PFAS leisten kann. Der Vergleich verfügbarer Daten zeigt aber, dass die mittleren PFAS-Gehalte in Eiern aus allen Erzeugungsarten über die Jahre hinweg zurückgegangen sind. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Expositionsschätzung gegenüber PFAS mit Unsicherheiten behaftet ist.

Aufgrund des ubiquitären Vorkommens von PFAS in der Umwelt, in zahlreichen Verbraucherprodukten und weiteren Lebensmitteln setzt sich die Gesamtexposition aus Beiträgen von vielen verschiedenen Expositionsquellen zusammen. Bei Erwachsenen in Deutschland entspricht die langfristige Gesamtexposition gegenüber der Summe der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) durch Verzehr von Lebensmitteln außer Trinkwasser bei mittleren Gehalten etwa dem Zweifachen (Mittelwert) bis Fünffachen (95. Perzentil) der Höhe des TWI (BfR 2021). Die Schätzung der externen Exposition von Kindern (1 bis 9 Jahre) entspricht teils bedingt durch den körperrgewichtbezogenen höheren Verzehr dem Zwei- bis Dreifachen der Höhe der Exposition Erwachsener (BfR 2021). Laut EFSA (2020) gibt die

Exposition oberhalb des TWI bei Teilen der Bevölkerung Anlass zur gesundheitlichen Besorgnis.

Insgesamt ist die Schätzung der Gesamtexposition gegenüber PFAS mit großen Unsicherheiten verbunden. Insbesondere Aussagen zum Anteil der Beiträge einzelner Lebensmittelgruppen an der Gesamtexposition durch Lebensmittel sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

3.2 Handlungsrahmen, Empfehlung von Maßnahmen

Optimierung bzw. Nutzung bereits bestehender sensitiver Analysemethoden

In dem vorliegenden Datensatz liegen die Gehalte für die Summe aus PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS in Hühnereiern zu einem hohen Prozentsatz (56 - 91 %) unterhalb der Bestimmungsgrenzen der hier eingesetzten analytischen Methoden für PFAS. Dies führt zu großen Unsicherheiten in den Expositionsschätzungen. Die Optimierung bzw. Nutzung bereits bestehender sensitiver Analysemethoden könnte zu einer weiteren Absenkung der Bestimmungsgrenzen führen und somit zur Verringerung der Unsicherheiten beitragen.

Überlegungen zur Verringerung der PFAS-Einträge in Futter, Boden, Wasser

Verbraucherinnen und Verbraucher können ihre Exposition gegenüber PFAS als ubiquitäre Umweltkontaminanten kaum beeinflussen. Das Vorkommen von PFAS in Lebensmitteln kann hauptsächlich durch das Vermeiden und Verschließen von Eintragsquellen in die Umwelt beeinflusst werden.

Für das Vorkommen von PFAS in Hühnereiern werden verschiedene Eintragspfade diskutiert, z. B. die Aufnahme über Futtermittel, Boden und Wasser. Die Kenntnis der jeweiligen Eintragsquellen kann eine Minimierung des Eintrags ermöglichen und zur Reduktion der Gehalte in Hühnereiern beitragen. Aus diesem Grund wird im Folgenden basierend auf den PFAS-Gehalten in Hühnereiern (Monitoringdaten 2024) durch mathematische Modelle die Exposition der Legehennen geschätzt und schließlich unter Berücksichtigung üblicher Aufnahmemengen auf die PFAS-Gehalte in den potentiellen Eintragsmatrices Futter, Boden, Wasser geschlossen.

PFAS-Exposition bei Legehennen

PFAS kommen ubiquitär in der Umwelt vor und können von Hühnern sowohl über Futtermittel und Tränkwasser als auch über den Boden inkl. Bodenorganismen (z. B. Würmer, Insekten) aufgenommen werden (Kowalczyk et al. 2020; LUBW 2021; Wilson et al. 2021).

Die Aufnahme von Boden und Bodenorganismen kann bei Hühnern je nach Haltungsbedingung unterschiedlich hoch sein (Jurjanz et al. 2015). In der ökologischen Erzeugung und Freilandhaltung können Hühner ihr natürliches Erkundungs-, Pick- und Scharrverhalten ausleben. Dabei nehmen sie zur Ergänzung ihrer Nährstoffversorgung auch Pflanzen, Boden und Bodenorganismen (Würmer/Insekten) auf. Somit nehmen Hühner aus ökologischer Erzeugung und Freilandhaltung mit Auslaufmöglichkeiten im Freien mehr Boden auf als Tiere, die in Ställen mit Einstreu gehalten werden, also aus Bodenhaltung. Die Menge der Bodenaufnahme ist bei Hühnern von der vegetativen Bodenbedeckung und der Jahreszeit abhängig (Jurjanz et al. 2015). Langkettige PFAS binden besonders gut an Bodenpartikel und sind relativ immobil (Lv et al. 2023). Zu den am häufigsten im Boden

nachgewiesenen Verbindungen gehören die langkettigen Verbindungen PFOA und PFOS (LANUV 2024; Lv et al. 2023).

Pflanzen nehmen PFAS aus dem Boden über die Wurzeln auf (Stahl et al. 2009). Im Rahmen eines nationalen Futtermonitorings erhobene Daten zeigen sehr niedrige Hintergrundgehalte an PFOA, PFNA, PFOS und PFHxS in pflanzlichen Futtermitteln. Bei einem hohen Anteil an linkszensierten Daten (der Anteil an Daten unterhalb der Bestimmungsgrenzen betrug 81 %) wurden in den für Geflügel relevanten Futtermitteln Rapsextraktionsschrot und Weizenganzkorn keine Gehalte für PFOA, PFDA, PFHxS und PFOS oberhalb der Bestimmungsgrenzen (0,01 - 0,3 µg/kg) ermittelt. Aufgrund des Akkumulationsverhaltens in proteinreichen Matrices sind in Futtermitteln tierischen Ursprungs, wie z. B. Fischmehl, höhere Gehalte an PFOS, PFOA, PFHxS und PFNA nachweisbar (Li et al. 2019; Suominen et al. 2011). Suominen et al. (2011) publizierten für in Europa gehandeltes Fischmehl mit 88 % Trockenmasse PFOS-Gehalte im Bereich von 0,9 bis 20 mg/kg. Im Rahmen eines PFAS-Monitorings in dänischen Eiern wurde aufgezeigt, dass Fischmehl in Rationen für Legehennen eine entscheidende PFAS-Quelle für den Transfer in das Hühnerei sein kann (Granby et al. 2024). Der Austausch von kontaminiertem Fischmehl durch andere Proteinfuttermittel in den Rationen führte zu einer raschen Auswaschung. Ausgehend von mittleren Gehalten an PFOS von 0,9 µg/kg und von der Summe der vier EFSA-PFAS von 1,1 µg/kg in den Hühnereiern, wurden innerhalb weniger Wochen PFAS-Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/kg erreicht. Hühner in der ökologischen Erzeugung und Freilandhaltung decken ihren Proteinbedarf zusätzlich zum Futtermittel durch die Aufnahme von Bodenorganismen wie Würmern und Insekten (Jurjanz et al. 2015). Untersuchungen an Regenwürmern, Asseln und Käfern weisen auf ein starkes Anreicherungsvermögen für PFAS aus dem Boden, insbesondere für PFOS hin (Burkhard and Votava 2022; Fremlin et al. 2023), und es ist anzunehmen, dass Würmer und Insekten aufgrund ihres PFAS-Akkumulationspotentials eine bedeutende PFAS-Quelle für Hühner in ökologischer Erzeugung und Freilandhaltung sein können.

Eine weitere mögliche Expositionsquelle für Legehennen gegenüber PFAS stellt das Tränkwasser dar, das aus verschiedenen Quellen (z. B. Trinkwasser, Brunnenwasser, Oberflächenwasser) stammen kann mit unterschiedlichen PFAS-Eintragsquellen (z. B. Feuerlöschschäume, Deponierückstände, Industrieemissionen). Studien zum Transfer in Legehennen zeigen eine starke lineare Korrelation zwischen den Gehalten an PFOA, PFHxS und PFOS im Tränkwasser und in Hühnereiern. Unter Berücksichtigung der möglichen täglichen Schwankungen der Tränkwasseraufnahme korrelieren die PFOS-Gehalte in Eiern besonders eng mit der täglichen PFOS-Aufnahme (Wilson et al. 2021).

Transfer von PFAS in das Hühnerei

Es wird angenommen, dass die Absorption von PFAS aus dem Verdauungstrakt in den Tierkörper nahezu 100 % beträgt und unabhängig von der Matrix (Futtermittel, Wasser, Boden) erfolgt. Oral aufgenommene PFAS werden anschließend von Legehennen rasch mit Kot, Urin sowie mit dem Ei wieder ausgeschieden. Welcher Anteil mit dem Ei ausgeschieden wird, variiert je nach PFAS Verbindung (Drew et al. 2021; Kowalczyk et al. 2020). Die mit dem Ei ausgeschiedenen PFAS sind zu 99 % im Eigelb wiederzufinden (Göckener et al. 2020). Das BfR hat eine Fütterungsstudie mit Legehennen (Lohmann brown) zum Transfer von PFAS aus kontaminiertem Futtermittel durchgeführt und Transferraten für PFOA, PFOS und PFHxS in Eiern nach einer 25-tägigen Expositionsphase bestimmt (Kowalczyk et al. 2020). So zeigte

PFOS eine nahezu vollständige Transferrate ins Hühnerei (99 %), während die Transferrate von PFOA bei ca. 49 % lag. Aus der anschließenden 42-tägigen Eliminationsphase mit einem PFAS-freien Futtermittel wurden Eliminationshalbwertszeiten im Ei von 4,5 Tagen für PFOA, 4,3 Tagen für PFOS und 7,6 Tage für PFHxS abgeleitet. Die Werte für PFNA werden aus denen für PFOS mit Read-Across extrapoliert (100 % Transferrate). Für PFOA, PFOS und PFHxS wurden vergleichbare mittlere Transferraten (50 %, 110 % und 70 %) sowie Halbwertszeiten (5,4, 3,5 und 7 Tage) in einer Studie an Legehennen nach Exposition über PFAS-kontaminiertes Tränkwasser beschrieben (Wilson et al. 2021).

Unter Berücksichtigung des Transfers kann abgeschätzt werden, wie hoch die tägliche orale Exposition von Legehennen über Futtermittel, Tränkwasser oder den Boden inklusive der Bodenorganismen gewesen sein muss, um die im Rahmen des Lebensmittelmonitorings 2024 ermittelten PFAS-Gehalte in Hühnereiern zu erreichen (Tabelle 12). Aufgrund des großen Einflusses der Bestimmungsgrenzen auf die Berechnung der PFAS-Gesamtexposition sowie der PFAS-Gehalte der für Legehennen relevanten Expositionsquellen wird der LB-Ansatz als das realistischere Szenario bewertet. Bei den Legehennen wurden Werte für die Gesamtexposition gegenüber PFOA, PFNA und PFHxS im Bereich Nanogramm pro Tag ermittelt. Diese sind im Vergleich zur Gesamtexposition gegenüber PFOS vernachlässigbar gering, weshalb auf diese Substanzen nachfolgend nicht eingegangen wird. Die Betrachtung der PFOS-Werte nach Haltungform zeigt für Legehennen in Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung eine um den Faktor 100 höhere Gesamtexposition als für Legehennen in Bodenhaltung (Tabelle 12). Unter der Annahme, dass die Exposition gegenüber PFOS ausschließlich aus der Aufnahme durch Futtermittel oder Boden oder Wasser resultiert, wurden PFOS-Gehalte für die jeweilige Einzelmatrix geschätzt:

Tabelle 12: Auf Basis der im Monitoring 2024 mittleren PFOS-Gehalte („lower bound“-Ansatz) in Hühnereiern berechnete mittlere PFOS-Gesamtexposition von Legehennen. Unter Annahme, dass 100 % von dieser PFOS-Exposition aus Futtermittel bzw. Boden oder Wasser stammt, wurden PFOS-Gehalte für die jeweilige Einzelmatrix geschätzt.

Haltungform	Gesamtexposition (µg/Tier und Tag)	Futtermittel ¹ (µg/kg TM)	Boden ² (µg/kg OS)	Wasser ³ (µg/Liter)
Bodenhaltung	0,00004	0,0004	k.A.	0,0002
Freilandhaltung	0,0029	0,026	0,10 - 0,58	0,013
Ökologische Erzeugung	0,0042	0,036	0,14 - 0,82	0,018

Parameter: ¹ Futtermittelaufnahme 115 g/Tag; ² Bodenaufnahme 5-30 g/Tag; ³ Tränkwasseraufnahme 230 ml/Tag; k.A. keine Bodenaufnahme in dieser Haltungform.

Unter Berücksichtigung üblicher Futtermittelaufnahmemengen wurden PFOS-Gehalte in Futtermitteln abgeschätzt, die zu einem Transfer in Hühnereier führen aber mit der derzeit von der Europäischen Kommission für Futtermittel empfohlenen Bestimmungsgrenze von ≤ 0,1 µg/kg nicht quantifizierbar wären. Ein Vergleich mit den BfR-Orientierungswerten für PFAS in Futtermitteln (BfR 2023) zeigt, dass bei der Verfütterung von Futtermitteln mit den in Tabelle 12 ermittelten PFOS-Gehalten an Legehennen die Höchstgehalte gemäß Verordnung (EU) 2023/915 für Eier über die gesamte Legeperiode hinweg nicht überschritten werden.

Unter der Annahme, dass die berechnete PFOS-Exposition der Henne ausschließlich aus der Aufnahme von Boden resultiert, wurden die möglichen PFOS-Bodengehalte abgeschätzt, die zu den im Monitoring ermittelten Gehalten in Hühnereiern aus Freilandhaltung oder ökologischer Erzeugung von 0,06 bzw. 0,09 µg/kg Frischgewicht führen würden. Dabei wurde den Legehennen in Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung eine Bodenaufnahme von 5 g bis 30 g pro Tier und Tag unterstellt. Dies resultiert in Bodengehalten von PFOS zwischen 0,10 und 0,58 bzw. 0,14 und 0,82 µg/kg. Die bei einer täglichen Bodenaufnahme von 5 g kalkulierten Bodengehalte entsprechen 64 % bzw. 90 % des in Nordrhein-Westfalen für Boden in Grünland abgeleiteten Hintergrundwertes für PFOS von 0,91 µg/kg (90. Perzentil, Oberboden 0–10 cm) (LANUV 2024).

Basierend auf den Monitoringdaten 2024 sind die PFAS-Gehalte in Eiern aus Bodenhaltung deutlich geringer als in Eiern aus Freilandhaltung und ökologischer Erzeugung. Da ein wesentlicher Unterschied zwischen den Haltungsformen in der Auslaufmöglichkeit im Freien liegt, können Gehaltsunterschiede auf den zusätzlichen Eintragspfad von PFAS über den Boden zurückzuführen sein.

Aufgrund der vorliegenden Daten kommt das BfR zu dem Schluss, dass neben Wasser und Futtermitteln auch der Boden als Expositionsquelle für Legehennen in ökologischer Erzeugung und Freilandhaltung berücksichtigt werden sollte.

4 Referenzen

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) 2021. PFAS in Lebensmitteln: BfR bestätigt kritische Exposition gegenüber Industriechemikalien. Stellungnahme Nr. 020/2021. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/pfas-in-lebensmitteln-bfr-bestaetigt-kritische-exposition-gegenueber-industriechemikalien.pdf>. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) 2023. Futtermittel sind ein Schlüssel zur Einhaltung von PFAS-Höchstgehalten in tierischen Lebensmitteln. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/futtermittel-sind-ein-schluessel-zur-einhaltung-von-pfas-hoechstgehalten-in-tierischen-lebensmitteln.pdf>. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

Blume, K., Lindtner, O., Heinemeyer, G., Schneider, K. and Schwarz, M. 2010. Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel - Ergebnisse des Forschungsprojektes LExUKon. Online verfügbar: https://www.bfr.bund.de/cm/350/aufnahme_von_umweltkontaminanten_ueber_lebensmittel.pdf. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

Burkhard, L.P. and Votava, L.K. 2022. Review of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) bioaccumulation in earthworms. *Environ Adv* 11, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100335>.

Drew, R., Hagen, T.G. and Champness, D. 2021. Accumulation of PFAS by livestock – determination of transfer factors from water to serum for cattle and sheep in Australia. *Food Additives & Contaminants: Part A* 38, 1897-1913. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1942562>.

EFSA (European Food Safety Authority) 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 18, e06223. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

Fremlin, K.M., Elliott, J.E., Letcher, R.J., Harner, T. and Gobas, F.A.P.C. 2023. Developing Methods for Assessing Trophic Magnification of Perfluoroalkyl Substances within an Urban Terrestrial Avian Food Web. Environmental Science & Technology 57, 12806-12818. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02361>.

GfK (Growth from Knowledge) 2016. Einkaufsstätten und Erzeugungsarten von Eiern, roh geprintet. GfK ConsumerScan 30000.

Göckener, B., Eichhorn, M., Lämmer, R., Kotthoff, M., Kowalczyk, J., Numata, J., Schafft, H., Lahrssen-Wiederholt, M. and Bücking, M. 2020. Transfer of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Feed into the Eggs of Laying Hens. Part 1: Analytical Results Including a Modified Total Oxidizable Precursor Assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry 68, 12527-12538. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04456>.

Granby, K., Ersbøll, B.K., Olesen, P.T., Christensen, T. and Sørensen, S. 2024. Per- and polyfluoroalkyl substances in commercial organic eggs via fishmeal in feed. Chemosphere 346, 140553. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140553>.

Jurjanz, S., Germain, K., Juin, H. and Jondreville, C. 2015. Plant and soil intake by organic broilers reared in tree- or grass-covered plots as determined by means of n-alkanes and of acid-insoluble ash. Animal 9, 888-898. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002870>.

Kolbaum, A.E., Ptok, S., Jung, C., Libuda, L. and Lindtner, O. 2023. Reusability of Germany's total diet study food list upon availability of new food consumption data—comparison of three update strategies. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00522-4>.

Kowalczyk, J., Göckener, B., Eichhorn, M., Kotthoff, M., Bücking, M., Schafft, H., Lahrssen-Wiederholt, M. and Numata, J. 2020. Transfer of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Feed into the Eggs of Laying Hens. Part 2: Toxicokinetic Results Including the Role of Precursors. Journal of Agricultural and Food Chemistry 68, 12539-12548. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04485>.

LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz) 2024. Hintergrundgehalte und -werte von PFAS in Böden ländlicher Gebiete in Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter: https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/LANUV-Fachbericht_150.pdf. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

Li, X., Dong, S., Zhang, W., Fan, X., Wang, R., Wang, P. and Su, X. 2019. The occurrence of perfluoroalkyl acids in an important feed material (fishmeal) and its potential risk through the farm-to-fork pathway to humans. Journal of Hazardous Materials 367, 559-567. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.103>.

LUBW (Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg) 2021. PFC in Böden und Übertritt in die Nahrungskette. Online verfügbar unter: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10163>. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

Lv, L., Liu, B., Zhang, B., Yu, Y., Gao, L. and Ding, L. 2023. A systematic review on distribution, sources and sorption of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in soil and their plant uptake. *Environmental Research* 231, 116156. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116156>.

MRI (Max-Rubner-Institut) 2008a. Nationale Verzehrsstudie II, Ergebnisbericht Teil 2- Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. Max-Rubner-Institut, Karlsruhe. Online verfügbar unter: https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVSII_Abschlussbericht_Teil_2.pdf. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

MRI (Max-Rubner-Institut) 2008b. Nationale Verzehrsstudie II. Ergebnisbericht Teil 1 - Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. Max-Rubner-Institut, Karlsruhe. Online verfügbar unter: https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVS_II_Abschlussbericht_Teil_1_mit_Ergaenzungsbericht.pdf. Letzter Zugriff: 04.08.2025.

Nowak, N., Diouf, F., Golsong, N., Höpfner, T. and Lindtner, O. 2022. KIESEL–The Children’s Nutrition Survey to Record Food Consumption for the youngest in Germany. *BMC nutrition* 8, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40795-022-00527-6>.

Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Hüther, J., Failing, K., Georgii, S. and Brunn, H. 2009. Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. *Arch Environ Contam Toxicol* 57, 289-298. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9272-9>.

Statista. 2023. Anzahl der erzeugten Eier nach Haltungsform in Deutschland in den Jahren 2017 bis 2021.

Suominen, K., Hallikainen, A., Ruokojärvi, P., Airaksinen, R., Koponen, J., Rannikko, R. and Kiviranta, H. 2011. Occurrence of PCDD/F, PCB, PBDE, PFAS, and Organotin Compounds in Fish Meal, Fish Oil and Fish Feed. *Chemosphere* 85, 300-306. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.010>.

Wilson, T.B., Stevenson, G., Crough, R., de Araujo, J., Fernando, N., Anwar, A., Scott, T., Quinteros, J.A., Scott, P.C. and Archer, M.J.G. 2021. Evaluation of Residues in Hen Eggs After Exposure of Laying Hens to Water Containing Per - and Polyfluoroalkyl Substances. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40, 735-743. <https://doi.org/10.1002/etc.4723>.

5 Anhang

5.1 Bestimmungsgrenzen

Tabelle 13: Zeitlicher Trend der mittleren Bestimmungsgrenzen, die von den Ländern rapportiert wurden.

Bestimmungsgrenzen (Mittelwerte)	PFOS in µg/kg	PFOA in µg/kg	PFNA in µg/kg	PFHxS in µg/kg
2021	0,52	0,51	1,00	1,00
2018 - 2022	0,41	0,42	0,42	0,40
2024	0,38	0,37	0,37	0,38

5.2 Expositionen gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern differenziert nach Haltungsformen und unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes

Tabelle 14: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Bodenhaltung** unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95.Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	1,25	1,01	3,14	0,37
Männlich	7.558	1,30	1,03	3,38	0,39	0,31	1,01
Weiblich	7.692	1,21	0,99	2,97	0,36	0,30	0,88

Tabelle 15: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Freilandhaltung** unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95.Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	1,71	1,38	4,30	0,53
Männlich	7.558	1,78	1,40	4,63	0,55	0,43	1,42
Weiblich	7.692	1,65	1,36	4,06	0,51	0,42	1,25

Tabelle 16: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **ökologischer Erzeugung** unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95.Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	0,79	0,64	1,98	0,35
Männlich	7.558	0,82	0,65	2,14	0,36	0,29	0,95
Weiblich	7.692	0,76	0,63	1,87	0,34	0,28	0,83

Tabelle 17: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Bodenhaltung** unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KIESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95.Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer*	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	316	4,57	3,56	12,46	1,35
Männlich	153	4,24	3,19	9,74	1,25	0,94	2,87
Weiblich	164	4,88	3,63	17,12	1,44	1,07	5,05
1-<2 Jahre	38	5,43	4,34	16,76	1,60	1,28	4,95
2-<3 Jahre	58	4,20	4,06	8,41	1,24	1,20	2,48
>=3 Jahre	219	4,53	3,34	12,59	1,34	0,99	3,72

* Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die ganzzahligen Summen der Anzahlen nicht identisch sind.

Tabelle 18: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **Freilandhaltung** unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95.Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer*	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	316	6,22	4,84	16,95	1,93
Männlich	153	5,77	4,34	13,24	1,79	1,35	4,11
Weiblich	164	6,64	4,94	23,29	2,06	1,54	7,23
1-<2 Jahre	38	7,38	5,91	22,80	2,29	1,84	7,08
2-<3 Jahre	58	5,72	5,52	11,43	1,78	1,72	3,55
>=3 Jahre	219	6,16	4,55	17,13	1,91	1,41	5,32

* Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die ganzzahligen Summen der Anzahlen nicht identisch sind.

Tabelle 19: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aus **ökologischer Erzeugung** unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95.Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus zwei Erhebungszeiträumen (2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer*	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	316	2,89	2,25	7,88	1,28
Männlich	153	2,68	2,02	6,16	1,19	0,89	2,73
Weiblich	164	3,09	2,30	10,83	1,37	1,02	4,80
1-<2 Jahre	38	3,43	2,75	10,60	1,52	1,22	4,70
2-<3 Jahre	58	2,66	2,57	5,32	1,18	1,14	2,36
>=3 Jahre	219	2,86	2,11	7,96	1,27	0,94	3,53

* Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die ganzzahligen Summen der Anzahlen nicht identisch sind.

5.3 Expositionen gegenüber PFAS durch den Verzehr von Hühnereiern (aller Erzeugungsarten)

Tabelle 20: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aller Erzeugungsarten unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus dreier Erhebungszeiträumen (2021, 2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2007 - 2020 (BfR 2021 ^a)			Exposition In ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95	MW	P50	P95
		Alle	15.250	0,79	0,64	1,98	0,64	0,51	1,60	0,13
Männlich	7.558	0,82	0,65	2,14	0,66	0,52	1,72	0,14	0,11	0,36
Weiblich	7.692	0,76	0,63	1,87	0,61	0,51	1,51	0,13	0,10	0,31

^a In der Stellungnahme 2021 wurde für den Verzehr auf die 24h-Recalls der NVS-II zurückgegriffen, u.a. um einen besseren Vergleich mit der EFSA-Stellungnahme zu ermöglichen. Da jedoch die DISHES-Daten besser die langfristige Exposition abbilden, solange es sich um regelmäßig und von einem großen Teil der Bevölkerung verzehrte Lebensmittel handelt, wurde für Eier in dieser Stellungnahme auf die DISHES-Daten zurückgegriffen. Deshalb weichen die Schätzungen von denen in der Stellungnahme 2021 dargestellten Aufnahmeschätzungen für Eier ab.

Tabelle 21: Geschätzte langfristige Exposition Erwachsener gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aller Erzeugungsarten unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf der NVS-II, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus dreier Erhebungszeiträumen (2021, 2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Erwachsene	Anzahl Verzehrer	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2007 - 2020 (BfR 2021 ^a)			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95	MW	P50	P95
Alle	15.250	1,89	1,52	4,74	1,40	1,13	3,53	0,46	0,37	1,16
Männlich	7.558	1,96	1,55	5,10	1,46	1,15	3,80	0,48	0,38	1,25
Weiblich	7,692	1,82	1,50	4,47	1,35	1,11	3,33	0,44	0,37	1,09

a In der Stellungnahme 2021 wurde für den Verzehr auf die 24h-Recalls der NVS-II zurückgegriffen, u,a, um einen besseren Vergleich mit der EFSA-Stellungnahme zu ermöglichen, da jedoch die DISHES-Daten besser die langfristige Exposition abbilden, solange es sich um regelmäßig und von einem großen Teil der Bevölkerung verzehrte Lebensmittel handelt, wurde für Eier in dieser Stellungnahme auf die DISHES-Daten zurückgegriffen, Deshalb weichen die Schätzungen von denen in der Stellungnahme 2021 dargestellten Aufnahmeschätzungen für Eier ab.

Tabelle 22: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aller Erzeugungsarten unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus dreier Erhebungszeiträumen (2021, 2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer ^a	Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2007 - 2020 (BfR 2021 ^b)			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95	MW	P50	P95
Alle	316	2,87	2,24	7,83	2,29	1,79	6,25	0,48	0,38	1,31
Männlich	153	1,99	2,99	2,99	2,13	1,60	4,89	0,45	0,34	1,03
Weiblich	164	3,41	2,73	10,53	2,45	1,82	8,59	0,51	0,38	1,80
1-<2 Jahre	38	2,64	2,55	5,28	2,72	2,18	8,41	0,57	0,46	1,77
2-<3 Jahre	58	2,85	2,10	7,91	2,11	2,04	4,22	0,44	0,43	0,89
>=3 Jahre	219	2,66	2,01	6,12	2,27	1,68	6,32	0,48	0,35	1,33

^a Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die ganzzahligen Summen der Anzahlen nicht identisch sind,

^b In der 2021 Stellungnahme zu Gesamtexposition zu PFAS wurde die Exposition in Kindern mit der VELS Studie berechnet, da wir mittlerweile auf aktuellere Daten zurückgreifen können haben wir die Exposition in der KiESEL Studie mit den Gehalten aus 2021 nachgerechnet.

Tabelle 23: Geschätzte langfristige Exposition von Kindern gegenüber der Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch den Verzehr von Hühnereiern aller Erzeugungsarten unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes (Verzehrdaten basierend auf KiESEL, nur Verzehrende). Zum Vergleich ist die jeweilige mittlere (MW), mediane (P50) und hohe (95. Perzentile, P95) Exposition auf Basis der Gehaltsdaten aus dreier Erhebungszeiträumen (2021, 2018 - 2022, 2024) dargestellt.

Kinder	Anzahl Verzehrer ^a	Exposition in ng/kg KG und Woche] basierend auf Gehaltsdaten von 2007 - 2020 (BfR 2021 ^b)			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022			Exposition in ng/kg KG und Woche basierend auf Gehaltsdaten von 2024		
		MW	P50	P95	MW	P50	P95	MW	P50	P95
Alle	316	6,86	5,34	18,71	5,11	3,98	13,93	1,67	1,30	4,55
Männlich	153	6,36	4,79	14,62	4,74	3,57	10,89	1,55	1,17	3,55
Weiblich	164	7,33	5,45	25,69	5,46	4,06	19,14	1,78	1,33	6,25
1-<2 Jahre	38	8,14	6,52	25,16	6,07	4,86	18,74	1,98	1,58	6,11
2-<3 Jahre	58	6,31	6,10	12,62	4,70	4,54	9,40	1,53	1,48	3,07
>=3 Jahre	219	6,80	5,02	18,90	5,06	3,74	14,08	1,65	1,22	4,59

^a Aufgrund von Stichprobengewichtungen kommt es durch Rundungen vor, dass die ganzzahligen Summen der Anzahlen nicht identisch sind.

^b In der 2021 Stellungnahme zu Gesamtexposition zu PFAS wurde die Exposition in Kindern mit der VELs Studie berechnet. Da mittlerweile auf aktuellere Daten zurückgegriffen werden kann wurde die Exposition in der KiESEL Studie mit den Gehalten aus 2021 nachgerechnet.

5.4 Geschätzte Exposition gegenüber PFAS über den Verzehr von Hühnereiern im Vergleich zum TWI unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes

Tabelle 24: Geschätzte Exposition über den Verzehr von Hühnereiern verschiedener Haltungsformen im Vergleich zum TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche (EFSA 2020) für die Summe der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) für verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands und unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes.

Gruppe	% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022						% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2024					
	Boden- haltung		Freiland- haltung		Ökologische Erzeugung		Boden- haltung		Freiland- haltung		Ökologische Erzeugung	
	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95
Erwachsene ¹ 14 - 80 Jahre	23	71	31	98	15	45	7	21	10	30	6	20
Kinder ² 0,5 - ≤ 5 Jahre	81	283	110	385	51	179	24	84	34	120	23	79

Tabelle 25: Geschätzte Exposition über den Verzehr von Hühnereiern aller Erzeugungsarten im Vergleich zum TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche (EFSA 2020) für die Summe der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) für verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands und unter Verwendung des „lower bound“-Ansatzes.

Gruppe	% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2007 - 2020 (BfR 2021 ^a)		% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022		% TWI basierend auf Gehaltsdaten von 2024	
	P50	P95	P50	P95	P50	P95
	Erwachsene ¹ 14 - 80 Jahre	15	45	12	36	3
Kinder ² 0,5 - ≤ 5 Jahre	51	178	41	142	9	30

^a In der 2021 Stellungnahme zu Gesamtexposition zu PFAS wurde die Exposition in Kindern mit der VELS Studie berechnet. Da mittlerweile auf aktuellere Daten zurückgegriffen werden kann wurde die Exposition in der KIESEL Studie mit den Gehalten aus 2021 nachgerechnet.

Tabelle 26: Geschätzte Exposition über den Verzehr von Hühnereiern aller Erzeugungsarten im Vergleich zum TWI von 4,4 ng/kg KG und Woche (EFSA 2020) für die Summe der vier PFAS (PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) für verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands und unter Verwendung des „upper bound“-Ansatzes.

Gruppe	% TWI		% TWI		% TWI	
	basierend auf Gehaltsdaten von 2007 - 2020 (BfR 2021 ^a)		basierend auf Gehaltsdaten von 2018 - 2022		basierend auf Gehaltsdaten von 2024	
	P50	P95	P50	P95	P50	P95
Erwachsene ¹ 14 - 80 Jahre	35	108	26	80	8	26
Kinder ² 0,5 - ≤ 5 Jahre	121	425	90	317	30	103

^a In der 2021 Stellungnahme zu Gesamtexposition zu PFAS wurde die Exposition in Kindern mit der VELs Studie berechnet. Da mittlerweile auf aktuellere Daten zurückgegriffen werden kann wurde die Exposition in der KIESEL Studie mit den Gehalten aus 2021 nachgerechnet.

Über das BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist ein wissenschaftlich unabhängiges Public-Health-Institut im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH). Es berät die Bundesregierung und die Bundesländer zu Fragen der Lebens- und Futtermittel-, Chemikalien- und Produktsicherheit. Das BfR betreibt eigene Forschung zu Themen, die in engem Zusammenhang mit seinen Bewertungsaufgaben stehen.

Impressum

Herausgeber:

Bundesinstitut für Risikobewertung

Max-Dohrn-Straße 8-10

10589 Berlin

T +49 30 18412-0

F +49 30 18412-99099

bfr@bfr.bund.de

bfr.bund.de

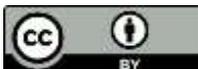
Anstalt des öffentlichen Rechts

Vertreten durch den Präsidenten Professor Dr. Dr. Dr. h. c. Andreas Hensel

Aufsichtsbehörde: Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

USt-IdNr: DE 165 893 448

V.i.S.d.P: Dr. Suzan Fiack



gültig für Texte, die vom BfR erstellt wurden

Bilder/Fotos/Grafiken sind ausgenommen, wenn nicht anders gekennzeichnet

BfR | Risiken erkennen –
Gesundheit schützen