



scaht

Swiss Centre for Applied Human Toxicology
Schweizerisches Zentrum für Angewandte Humantoxikologie
Centre Suisse de Toxicologie Humaine Appliquée
Centro Svizzero di Tossicologia Umana Applicata

AQUA360

Chemikalienregulierung und Wassersicherheit: Angemessen oder unzureichend?

Handelt die Politik verzögert, obwohl wissenschaftliche Erkenntnisse längst vorliegen?

Donnerstag 13. November 2025, 11:15 – 11:55

Palazzo die Congressi Lugano, Piazza Indipendenza 4, 6900 Lugano, Tel.: +41 58 866 66 30

Lothar Aicher

SCAHT, Universität Basel, Missionstrasse 64, CH-4055 Basel

lothar.aicher@unibas.ch



UNI
BASEL



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE



UNIL | Université de Lausanne

Zertifizierter Toxikologe / Fachtoxikologe (ERT)

Spezialisiert auf die Bewertung von Gesundheitsrisiken und die Regulierung von Chemikalien

Schweizerisches Zentrum für Angewandte Humantoxikologie (SCAHT)

Unabhängige Stiftung (2009), finanziert durch das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI)

„Partner“ der (Bundes)behörden: BAFU, BAG, BLV, BLW, SERI, Swissmedic

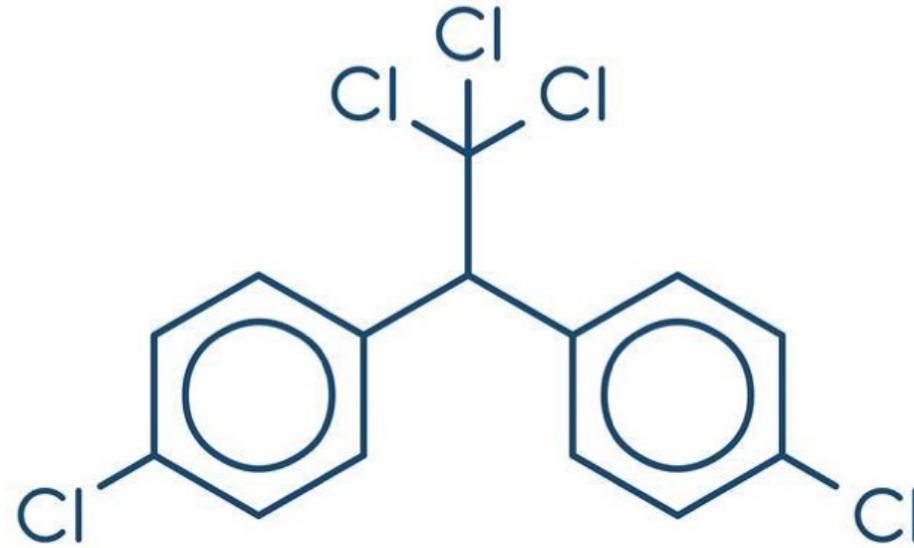
Angewandte Forschung (Neurotoxizität und Störungen des Hormonsystems) und Lehre (Uni Basel und Genf)

Humantoxikologen beurteilen das Gesundheitsrisiko von Chemikalien und erarbeiten Richtlinien und Grenzwerte zum sicheren Umgang mit Chemikalien



Regulierung im Rückstand: Läuft die Wissenschaft den Gesetzen davon?

DDT - Der Fall «Rachel Carson»



DDT

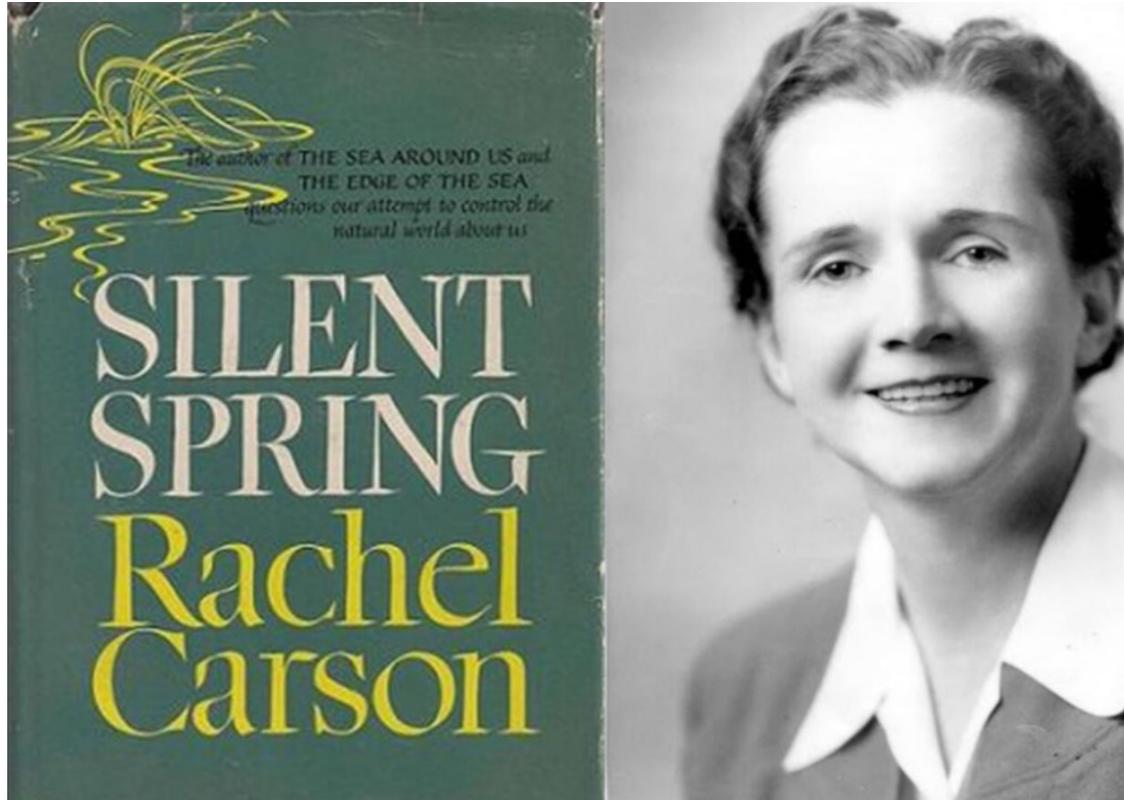
Seit 1940er, Einsatz von DDT als Insektizid in der Landwirtschaft und zur Malariabekämpfung
DDT ist beliebt, weil es preiswert, vielseitig und langlebig ist



DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan)

Zehn Jahre bis zum Umdenken

Erst warnte die Wissenschaft – dann handelte die Politik.



- **1962: Katalogisierung der Umweltauswirkungen von DDT**

Kritik am wahllosen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

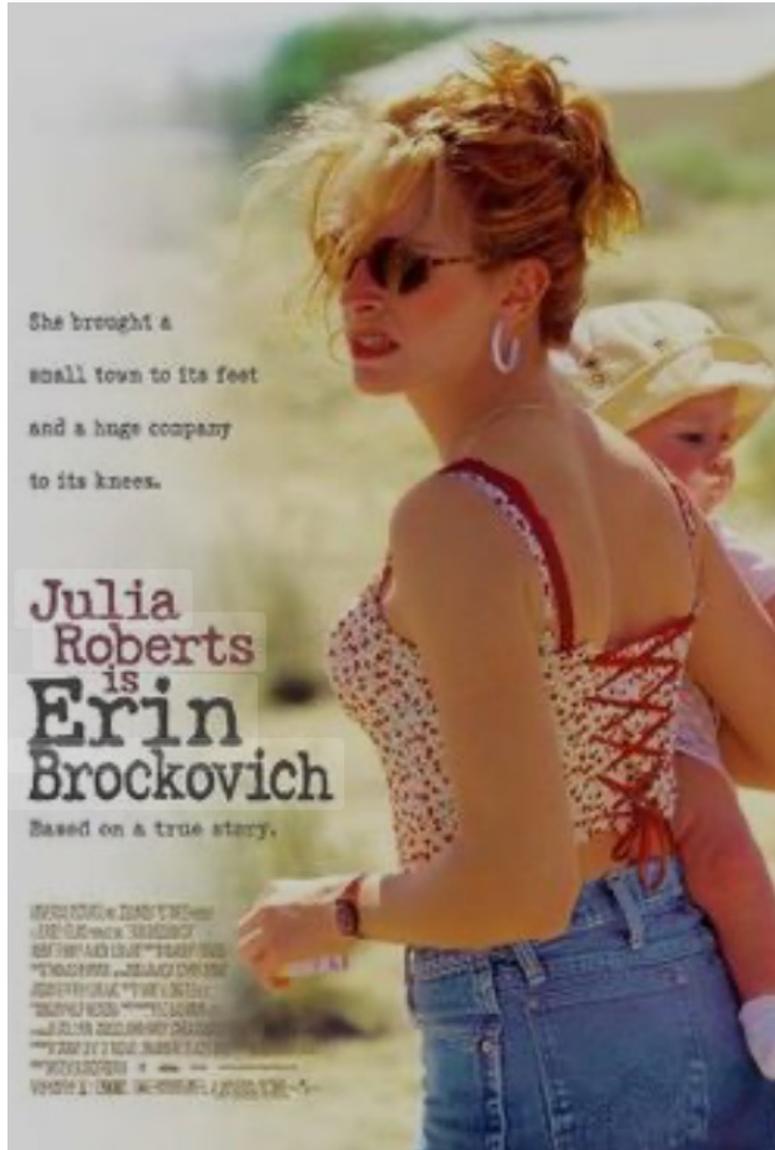
- **→ 1972: Verbot von DDTs in den USA (wegen Persistenz)**

→ → Globales Verbot für den Einsatz in der Landwirtschaft

- **ABER noch erlaubt für Malariabehandlungen**

Der Fall «Erin Brockovich»

Chrom (VI) - Vom Skandal zur späten Einsicht, 1966 aufgedeckt, Jahre später erforscht – und noch später reguliert



What are EPA's drinking water regulations for chromium?

EPA has a drinking water standard of 0.1 milligrams per liter (mg/l) or 100 parts per billion (ppb) for total chromium. This includes all forms of chromium, including chromium-6. Water systems are required to test for total chromium. The current standard is based on potential adverse dermatological effects over many years, such as allergic dermatitis (skin reactions). EPA regularly re-evaluates drinking water standards and, based on new science on chromium-6, began a rigorous and comprehensive review of its health effects in 2008.

Chrom im Trinkwasser: Ein Grenzwert für alles – oder klare Trennung von Gut und Gift?

Cr(VI) (krebserregend) wird zu Cr(III), ein lebenswichtiges Spurenelement entgiftet, aber Prozess ist umkehrbar

1952 - 1966

Ein Energieversorgungsunternehmen* verwendet **Cr(VI)** als Korrosionsschutzmittel in seinen Kühlsystemen
Cr(VI) wurde in offene Verdunstungsbecken geleitet und **sickerte ins Grundwasser**

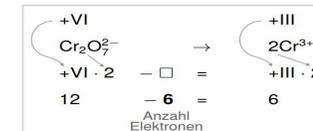
1996

Entschädigungszahlungen von 333 Mio \$ für erkrankte Anwohner

2008

US NTP veröffentlicht Studie zur krebserregenden Wirkung von Cr(VI)**

Cr(VI) wird zu Cr(III) entgiftet, aber der Prozess ist umkehrbar



2024

Kalifornien legte als erster US-Bundesstaat einen Chrom(VI)-Grenzwert von 10 µg/L fest

Schweiz: Chrom gesamt: 50 µg/L; Cr(VI): 20 µg/L (16. Dez. 2026)

Aktuell - USA

1991: Trinkwasserstandard für Gesamtchrom: 0,1 mg/l (Annahme: Worst case alles Cr(VI))
wegen allergischer Dermatitis (nicht Krebs) nach Cr (VI)-Exposition

Zukünftig?

Laufende Re-evaluierung durch US-Umweltbehörde unter Berücksichtigung der Daten aus 2008

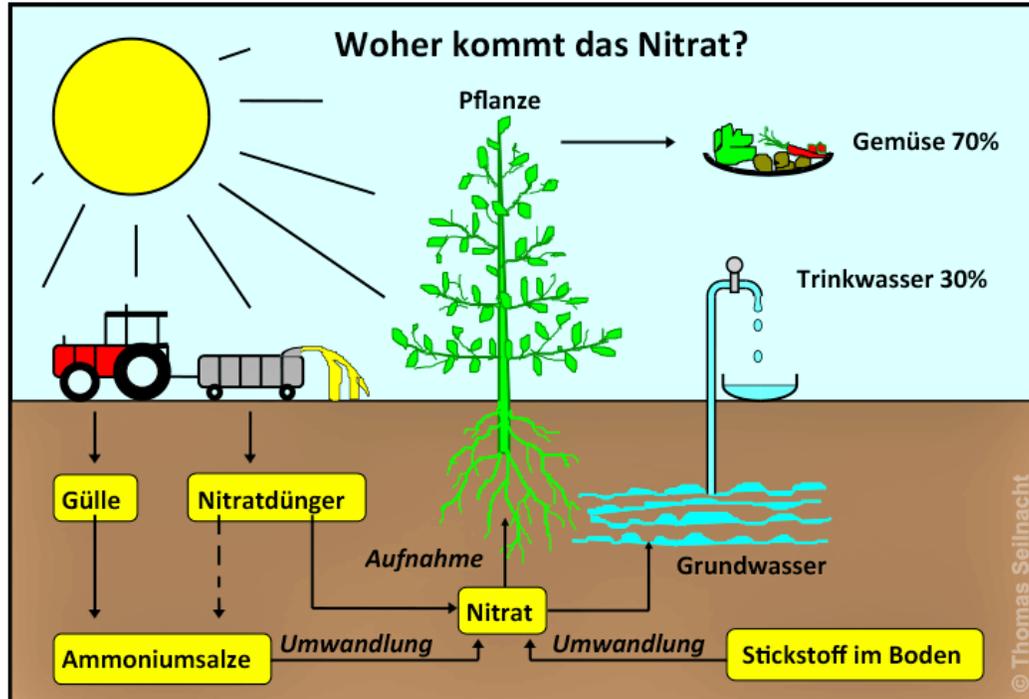
<https://www.epa.gov/sdwa/chromium-drinking-water>

*Pacific Gas and Electric Company

** National Toxicology Programm

Landwirtschaftlicher Nitrateintrag belastet Grund- und Trinkwasser

EU-Grenzwert beruht auf akuter Toxizität bei Säuglingen, nicht auf kanzerogenen Wirkungen (Darmkrebs)



2018

Europäischen Gerichtshof verurteilt Deutschland, wegen unzureichender Massnahmen

2025

Deutsches Bundesgericht, verlangt eine Verschärfung der aktuellen Gülle-/Düngeregelung

Akute Toxizität: Nitrat → Nitrit (Reduktion) → Hämoglobin (Fe^{2+}) → Methämoglobin (Fe^{3+}) → Methämoglobinämie „Blausucht des Säuglings“

Chronische Toxizität: Nitrat → Nitrit → N-Nitrosoverbindungen → DNA-Schäden → Krebs

Eine Frage der Relevanz: Das Fungizid «Chlorothalonil» und seine Abbauprodukte

Metaboliten im Trinkwasser – Warnzeichen überhört?



2018

EFSA-Empfehlung: “Wahrscheinlich krebserregend“ (Kategorie 1B) – Hinweise im Tier
EU-CLP Klassifizierung: “Möglicherweise krebserregend“ (Kategorie 2) – Begrenzte Hinweise

2019, 2020

Verbot in der EU, obwohl EFSA-Empfehlung nicht rechtlich bindend ist
Verbot in der Schweiz, weil BLV-Einschätzung im Einklang mit EFSA

Aktuell
Schweiz

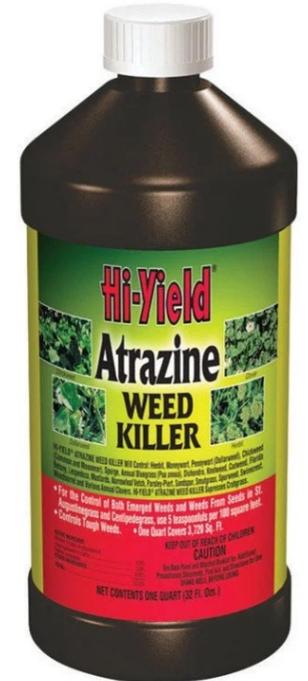
Für toxikologisch relevante Metabolite gilt der gleiche Grenzwert wie für PSM
Relevante Metabolite > 0,1 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) → Trinkwasser verunreinigt

https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/stoffe-im-fokus/pflanzenschutzmittel/chlorothalonil.html?utm_source=chatgpt.com

Der Fall «Atrazin» zwei regulatorische Systeme, unterschiedliche Regulierung

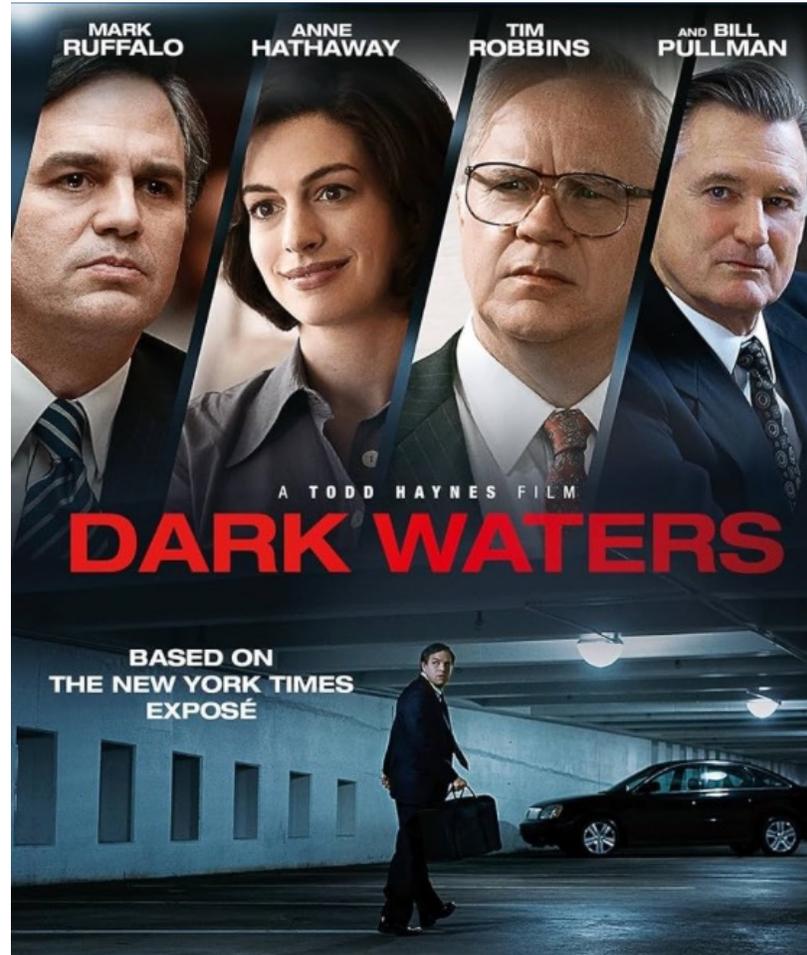
Verboten in der EU (Vorsorgeprinzip) – zugelassen in den USA (risikobasierte Bewertung)

1959	Zulassung als Unkraubekämpfungsmittel im Getreide (USA), 1960er (EU)
1990er und 2000er	Geschlechtsumwandlung bei Fröschen → hormonaktiv !
1980er	Beobachtungen: Hohe Persistenz & Auswaschung ins Grundwasser → Monitoring
1990er	Exposition verringern → Nutzungseinschränkungen / Verschärfungen
Ab 1998	EU-weite Re-evaluierung bis 2003
2004	EU-Zulassung läuft aus, weil Grenzwert von 0.1 µg/L Wasser wahrscheinlich nicht eingehalten werden kann
2025	Zulassung in USA bleibt, Grenzwert von 3 µg/L,



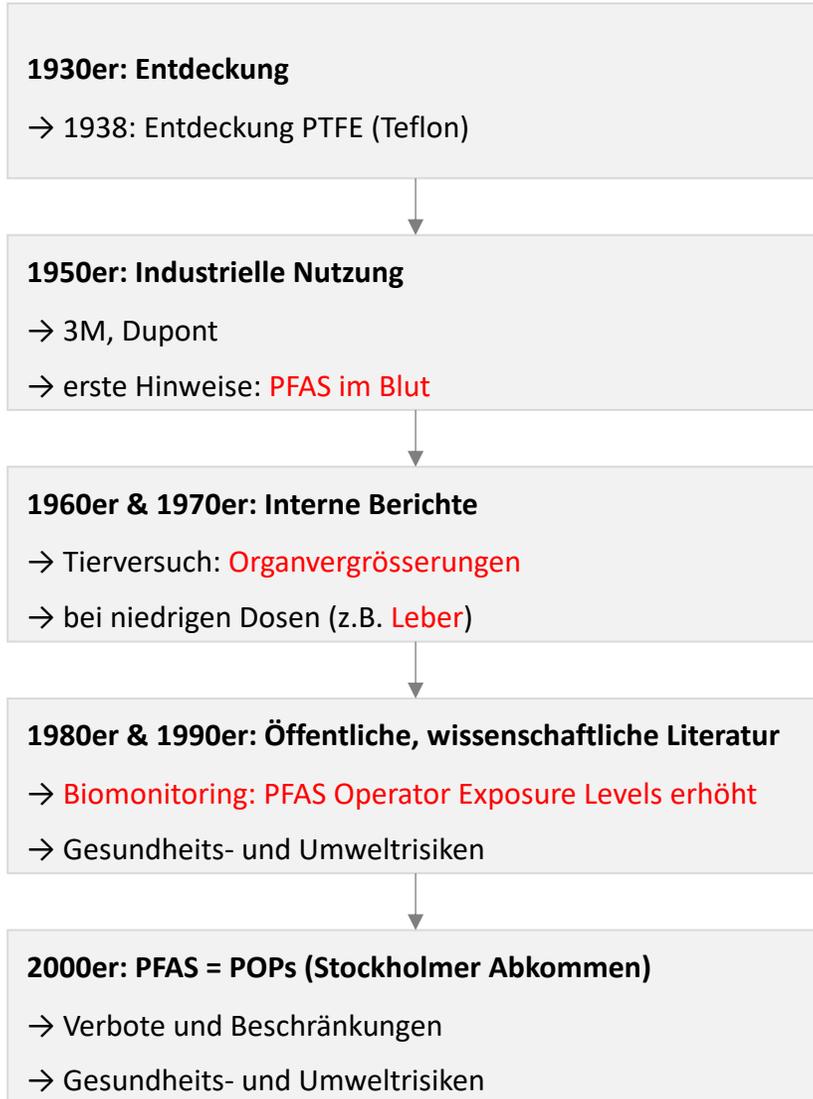
PFAS: Der Fall «Robert Bilott»

PFAS: Ewig giftig – Chemikalien, die bleiben - und eine Regulierung, die sich Zeit lässt.



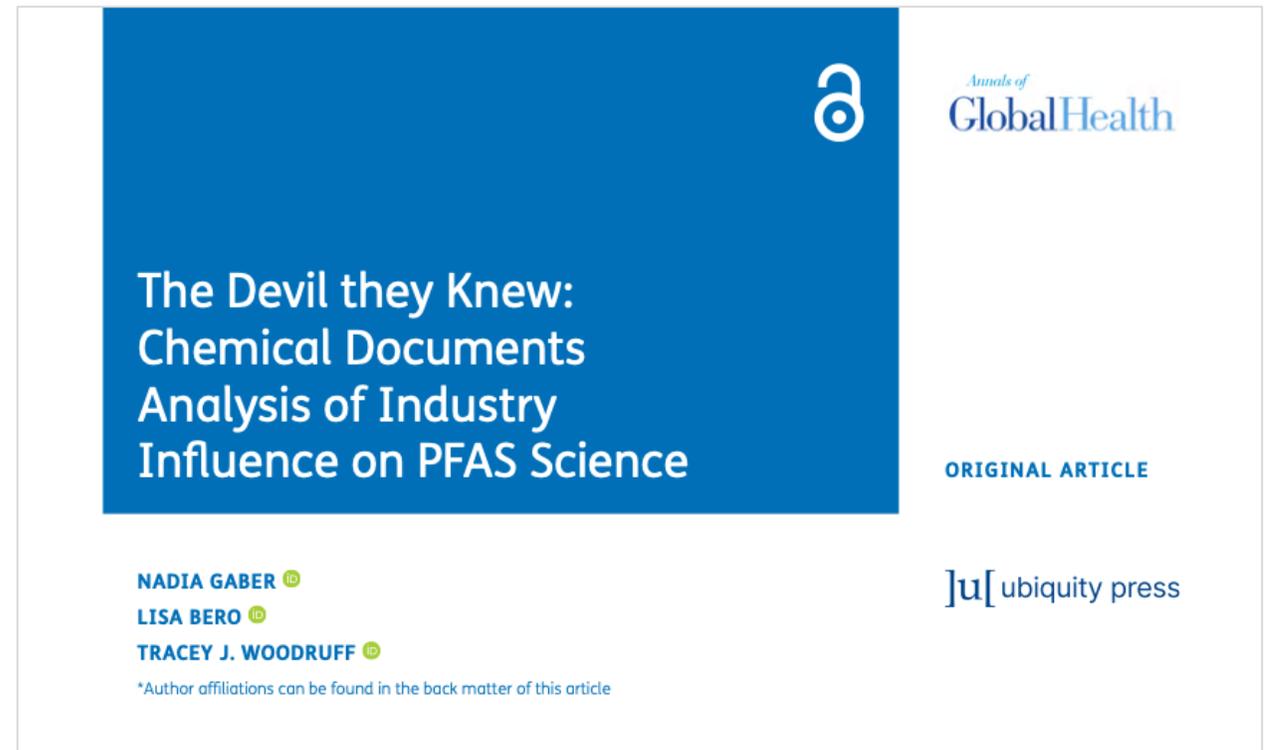
PFAS - Belastung

Lange Evidenz, späte Konsequenz



2020er: EC-Vorschlag Komplett-Verbot

- Verschärfung und Ausweitung der Grenzwerte! e.g EFSA 2021
- Wesentliche Verwendungszwecke «Essential uses»?
- Ersatzstoffe – «no regrettable substitutes»?



Humantoxikologen beurteilen das Gesundheitsrisiko von Chemikalien und erarbeiten Richtlinien zum sicheren Umgang mit Chemikalien

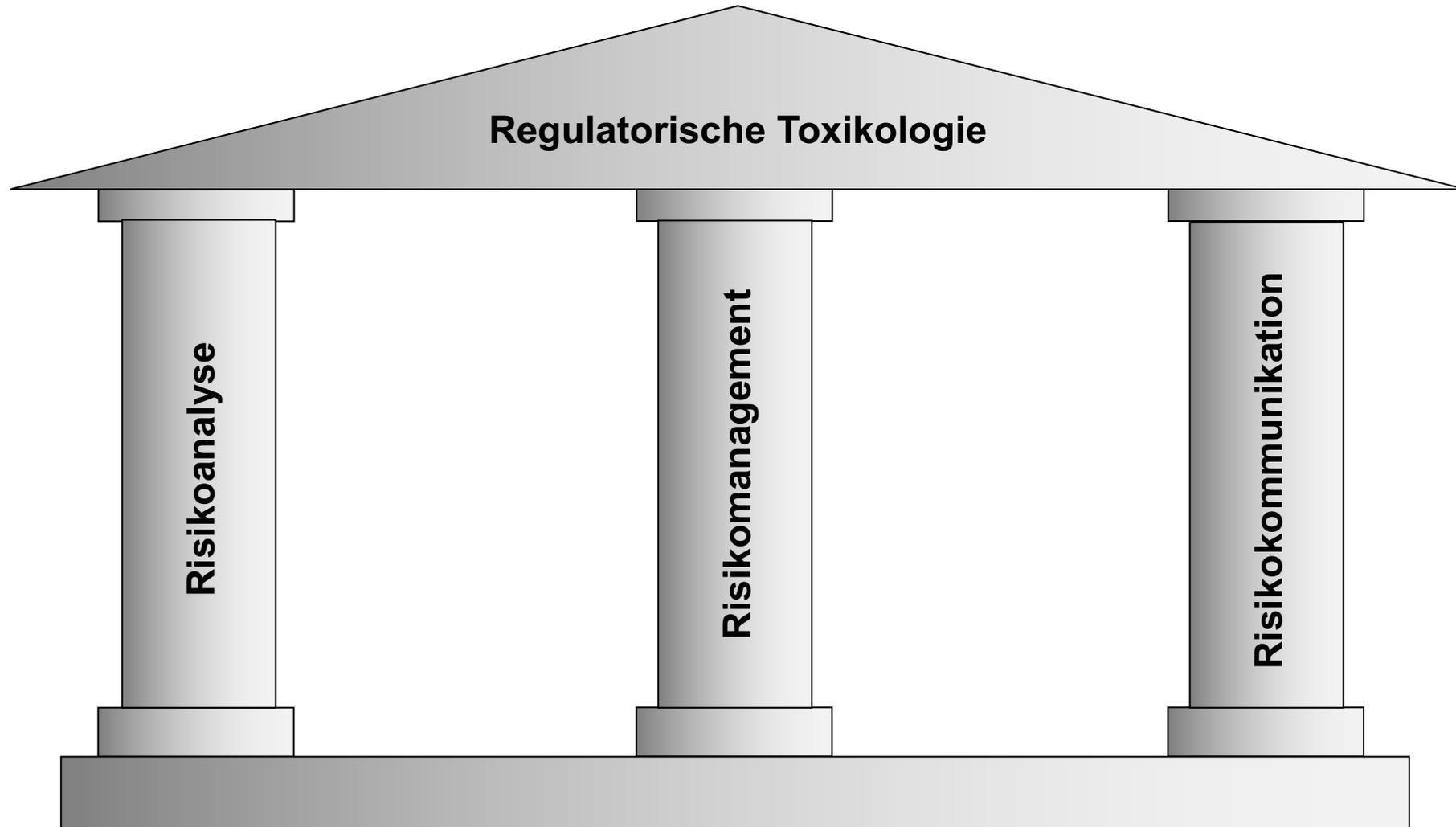


Warum dauert das so lange?

Der Prozess

Die drei Säulen der regulatorischen Toxikologie

Vom Befund zur Entscheidung



Toxikologie als Wegweiser, nicht als Richter

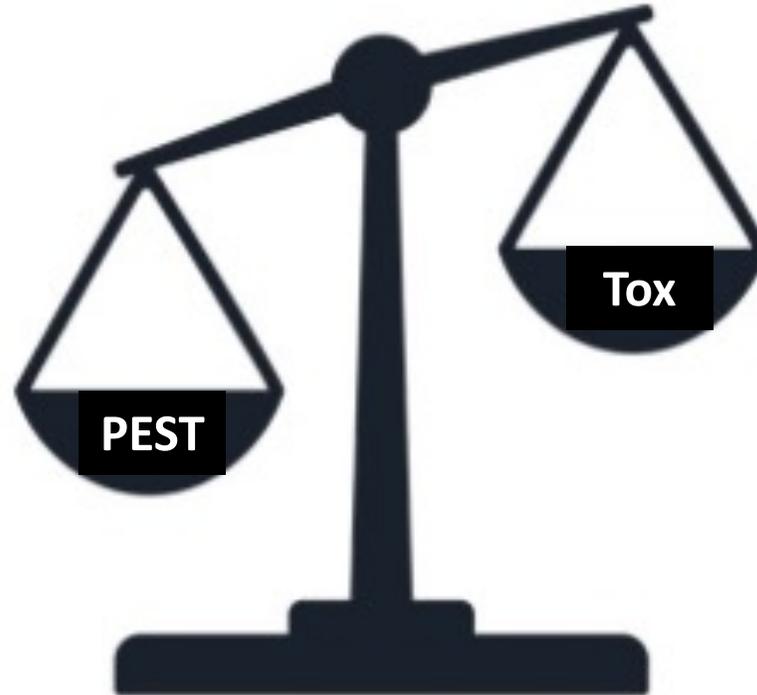
Die Wissenschaft empfiehlt aber die Politik entscheidet

	Risikoanalyse Wissenschaft	Risikomanagement Politik	Risikokommunikation Wahrnehmung
Wer macht was?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wissenschaftler ▪ Toxikologen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Politiker ▪ Behördenmitarbeiter 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risikoanalysten ▪ Risikomanager ▪ Industrie, NGOs, ...
Wie wird es gemacht?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Generieren und evaluieren toxikologische Daten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PEST ▪ SEA ▪ Risiko-Nutzen-Analyse 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resultate erklären und Interventionen begründen
Wozu wird es gebraucht?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informieren der Risikomanager über mögliche Risiken 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erlassen Gesetze zur Risikokontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schafft Transparenz ▪ Schafft Vertrauen

² PEST: Political, Economic, Social, and Technological analysis, ³ SEA: Socio Economic Analysis

Zwischen Risiko und Realität

Wie Grenzwerte ausgehandelt werden



PEST: Politische, Ökonomische, Sozioökonomische und Technische Faktoren beeinflussen die Regulierung

Die Wissenschaft

Defizite der aktuellen Sicherheitsüberprüfung von Chemikalien

Aktuelle Testmethoden:
Hauptsächlich Tierversuche



Teuer & langwierig

Tierbasiert – Relevant für den Menschen?

Testung von Einzelsubstanzen

Hohe Dosis

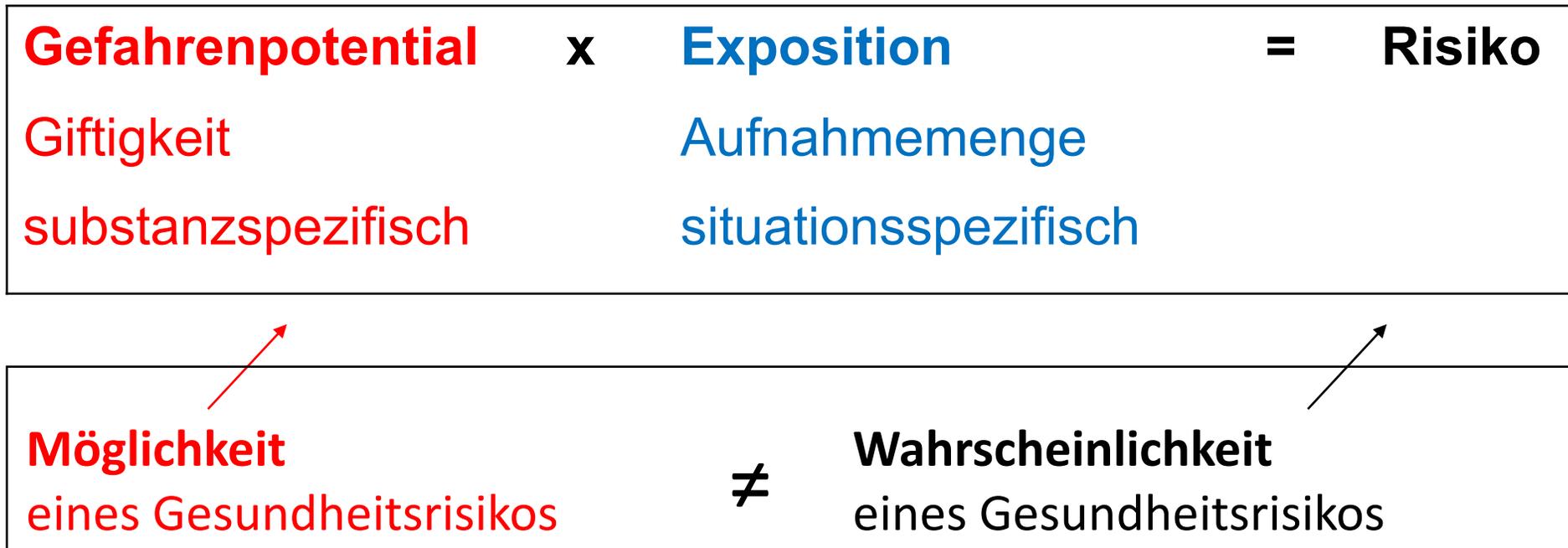
Black Box – Mechanismen der Toxizität?

Muttersubstanz getestet - Metaboliten vernachlässigt?

Risikobasierte Analyse

Grundsatz der Risikobeurteilung

Das Gesundheitsrisiko besteht aus zwei unabhängigen Komponenten



Unterschied Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit

Gewinnwahrscheinlichkeit: 6 Richtige plus Superzahl: 1 zu 139'838'160

SACHSEN LOTTO **LOTTO Sachsen**

Normalschein

LOTTO 6 aus 49

1	2	3	X	5	6	7	X	X	3	X	5	X	7	1	2	X	4	5	6	7	1	2	X	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	X	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14	X	9	X	11	12	13	14	8	9	X	11	12	13	14	8	9	X	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	X	10	11	12	13	14
15	16	17	X	19	20	X	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	X	18	19	20	21	15	X	X	X	X	X	15	16	X	18	19	20	21	
X	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	X	23	24	25	26	27	X	22	23	X	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	X	26	27	28
29	30	31	X	33	34	35	29	30	31	32	33	34	35	29	30	31	32	33	X	35	29	30	X	32	33	34	35	29	30	31	32	33	34	35	29	30	31	32	X	34	35
36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	39	40	X	42	36	37	X	39	40	41	42	36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	39	40	X	42
X	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49
X	2	3	4	5	6	X	1	2	X	4	X	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	X	12	13	14	8	9	X	X	X	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	X	19	20	21	15	16	X	18	X	20	21	15	16	X	18	X	20	21	15	16	X	X	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	X	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	X	26	27	28	22	X	24	25	26	X	28
29	30	31	X	33	34	35	29	30	X	32	X	34	35	29	30	X	32	X	34	35	29	30	31	32	33	34	35	29	30	X	X	X	34	35	29	30	X	X	X	34	35
36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	39	40	41	42	36	37	38	X	40	41	42	36	37	38	X	40	41	42
X	44	45	46	47	48	X	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49	43	44	45	X	47	48	49	43	44	45	46	47	48	49

Laufzeit Wochen: 2 3 4 5 13 oder **DAUERSPIEL** Ja

Samstagsziehung Mittwochsziehung

Spiel 77 Ja Nein

SUPER 6 Ja Nein

7165915
Superzahl

LOTTO 6 aus 49 Normalschein

Bitte beachten Sie umseitige Hinweise zu den Teilnahmebedingungen und zur Suchtprävention sowie zur Spielteilnahme ab 18 Jahren.

10000

Das Gesundheitsrisiko besteht aus zwei Komponenten

Fall 1: «Chemikalie» sehr giftig, aber Exposition sehr klein

Gefahrenpotential **x** **Exposition** **=** **Risiko**



Kernkraftwerk Leibstadt

Kein Gesundheitsrisiko solange keine Radioaktivität austritt

Das Gesundheitsrisiko besteht aus zwei Komponenten
Fall 2: Chemikalie *weniger* giftig, aber Exposition hoch

Gefahrenpotential x Exposition = Risiko



Gesundheitsrisiko bei übermäßigem Alkoholmissbrauch

Das Gesundheitsrisiko besteht aus zwei Komponenten

Fall 2: Chemikalie weniger giftig, aber Exposition hoch

Gefahrenpotential **x** **Exposition** **=** **Risiko**



Gesunde Leber

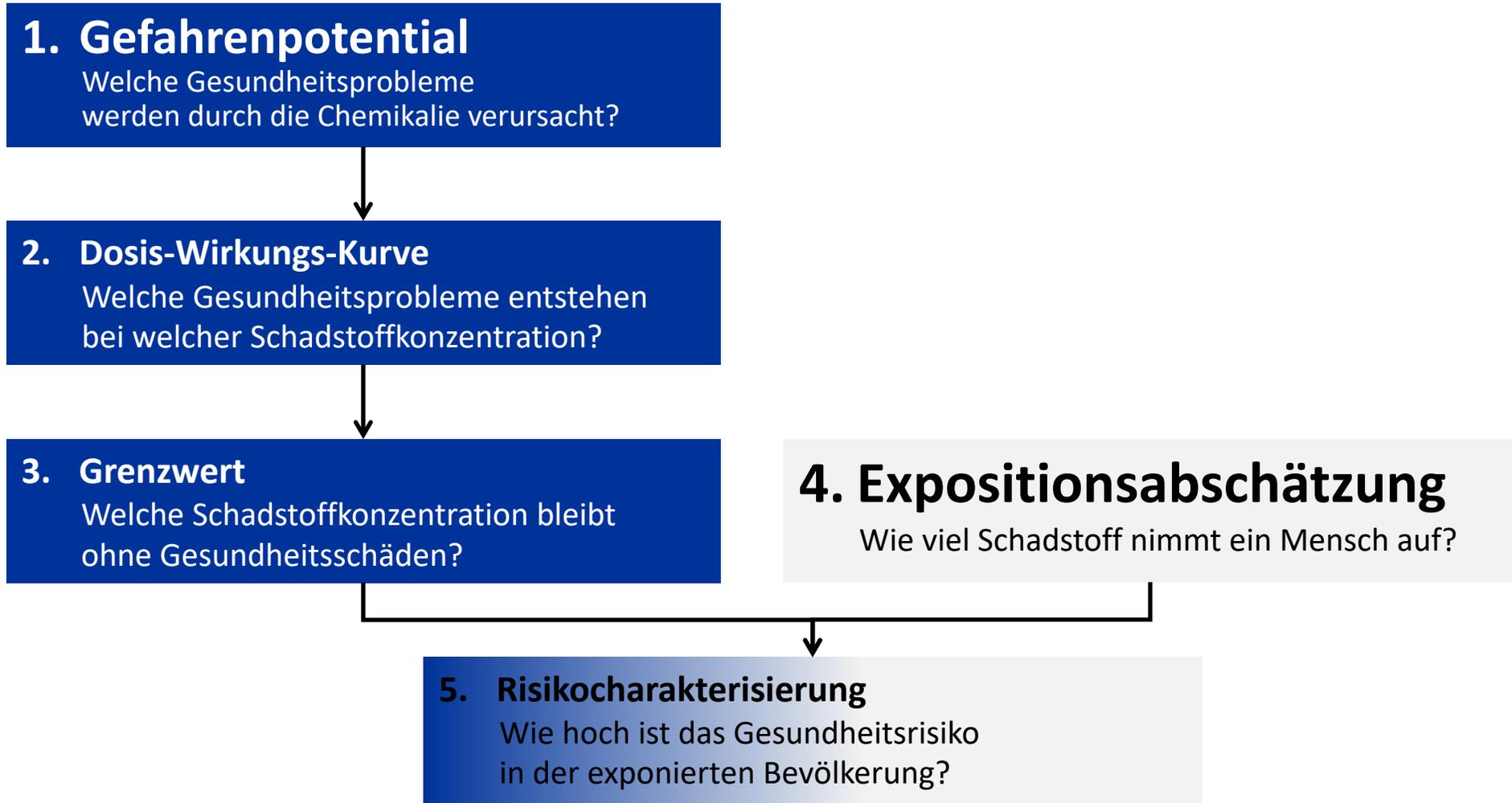


Leberzirrhose

Gesundheitsrisiko bei übermäßigem Alkoholmissbrauch

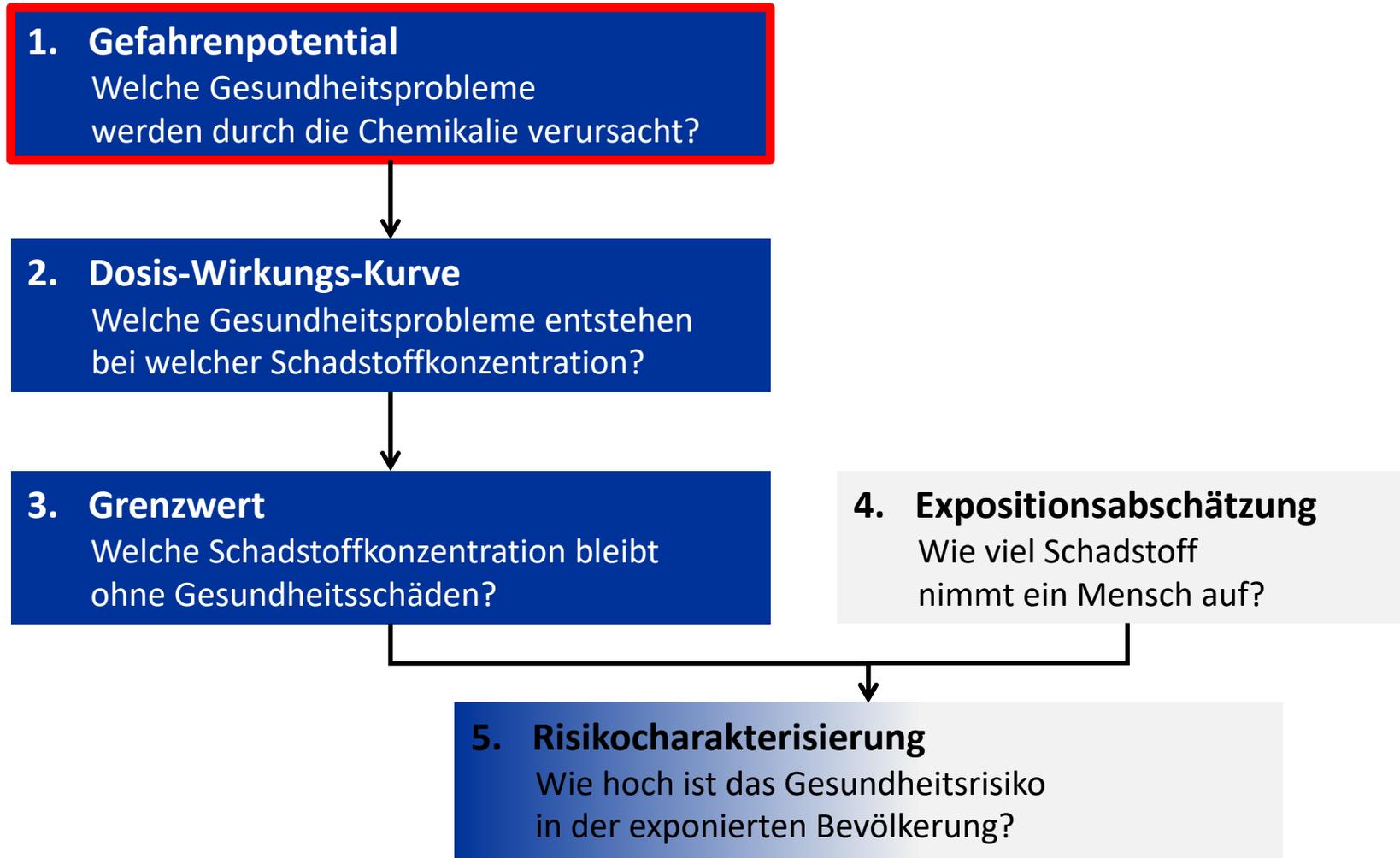
Humantoxikologische Risikobeurteilung ist ein Mehrstufenprozess

Welches Gesundheitsrisiko besteht und wie gross ist es?



Humantoxikologische Risikobeurteilung ist ein Mehrstufenprozess

Welches Gesundheitsrisiko besteht und wie gross ist es?

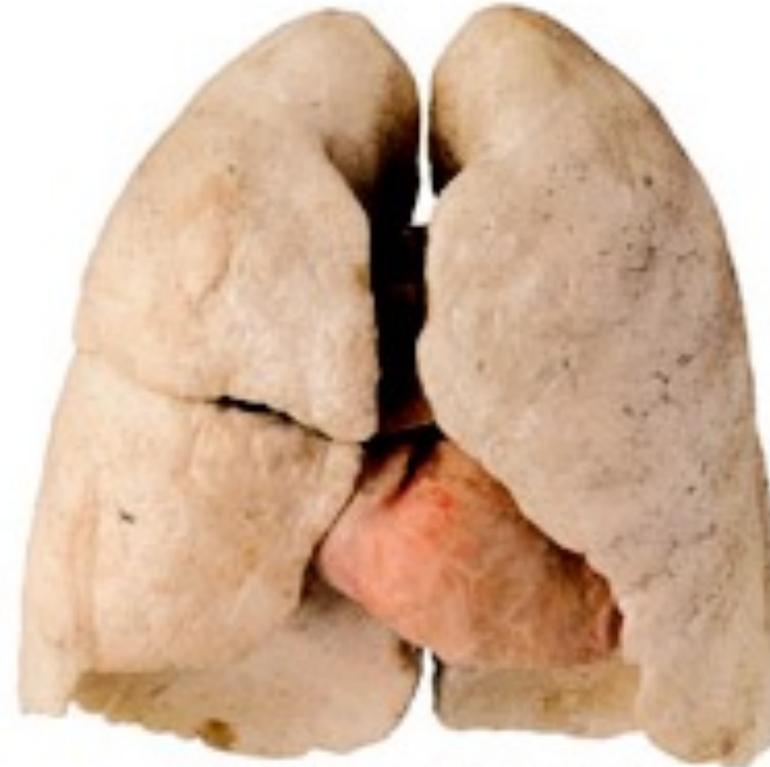


Der Mensch als Quelle toxikologischer Evidenz

Gefahrenpotential aus Beobachtungen am Menschen (Epidemiologie)
„Raucherkrankheit“ Lungenkrebs (75% der Fälle durch Rauchen)



Raucherlunge



Nichtraucherlunge

Gefahrenpotential aus epidemiologischen Studien

Entwicklungsneurotoxizität* durch Methylquecksilber in Fisch und Meeresfrüchten



* z.B. Sprach-, Konzentrations- und Erinnerungsstörungen bei Kindern

Nachteil epidemiologischer Studien

Multikausalität

Beispiel : Multikausalität - Effekte vermengen sich

- Ein Stein und ein Baum fallen gleichzeitig auf ein Hausdach (Ursache).
- Das Dach stürzt ein (Wirkung).
- Der Beitrag der einzelnen Faktoren zur Gesamtwirkung ist nicht bestimmbar.

Analog:

Speiseröhrenkrebs wird sowohl durch Rauchen als auch durch Alkohol verursacht.

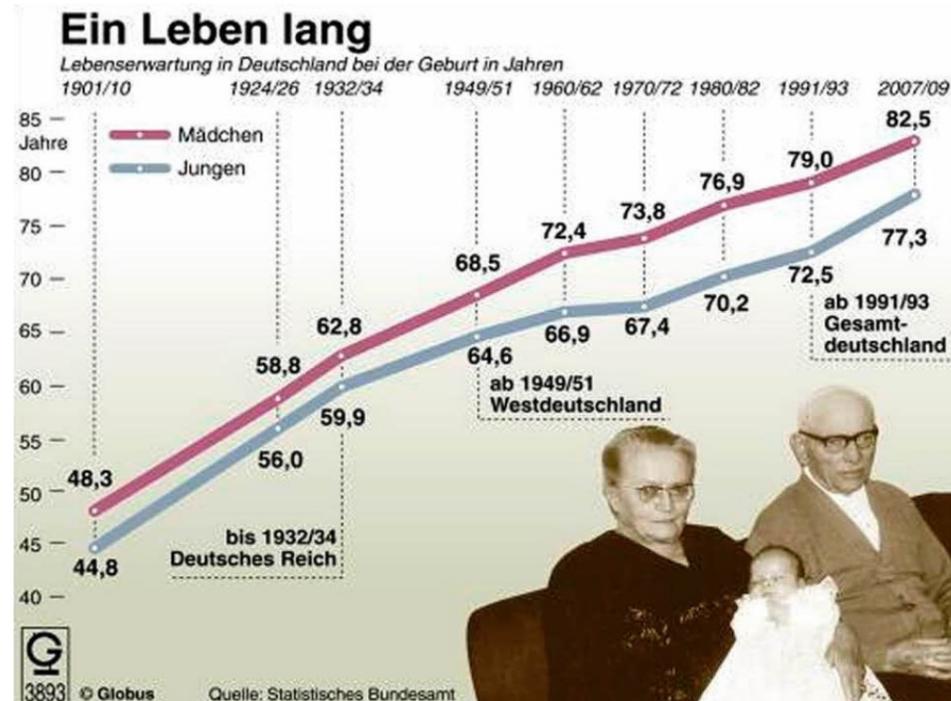


Nachteil epidemiologischer Studien

Scheinassoziation

Beispiel: Negative Beziehung zwischen Schuhgrösse und Lebenserwartung

- Je kleiner der Fuss, desto länger das Leben (Beobachtung)
- Tatsächliche Ursache: Frauen haben eine höhere Lebenserwartung

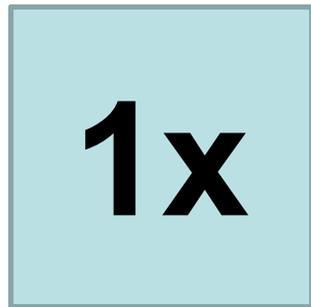


Tierversuche in der Gefahrenermittlung

Planbar und kontrollierbar

Gefahrenpotential abhängig von Dauer und Häufigkeit der Schadstoffaufnahme

Ist eine hohe Dosis gefährlicher als viele niedrige Dosen?



Akut



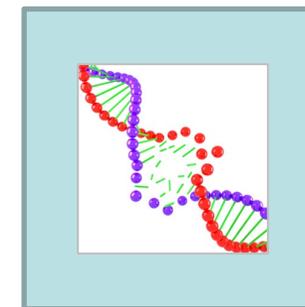
Subchronisch



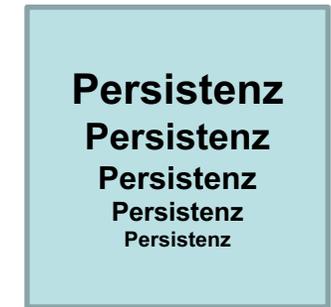
Chronisch



Reprotoxisch



Genotoxisch,
Mutagen



z.B. POPs*,
einige Metalle

* POPs: Persistent Organic Pollutions – siehe Stockholm Konvention

Gefahrenpotential abhängig vom Aufnahmeweg / Expositionspfad

Sind alle drei Aufnahmewege für Chemikalien in den Körper gleich gefährlich?



Oral



Inhalation



Dermal

Die Entgiftung kann sich je nach Expositionspfad unterscheiden

Bsp.: Cr^{VI} Entgiftung zu Cr^{III} im Magen-Darm-Trakt aber nicht in der Lunge.

Gefahrenpotential abhängig vom Zeitpunkt der Aufnahme

Wirkt ein Gift zu jedem Zeitpunkt der menschlichen Entwicklung als Gift?

Das “Timing” macht das Gift (Schwangerschaftswoche entscheidend)

Contergan® (Thalidomid) ist **teratogen** (bewirkt Fehlbildungen)



Contergan® hemmt das Wachstum von Blutgefäßen: Jene Gefäße, die den knospenden Armen und Beinen des Embryos Blut zuführen.

Lokale Gifte: Schäden direkt an der Kontaktstelle des Körpers mit dem Gift

Systemische Gifte: Schäden entfernt vom Resorptionsort



Lokale Wirkung
an der Kontaktstelle
z.B. Verätzung, Rasurbrand



Systemische Wirkung
irgendwo im Körper
nach Verteilung über das Blut

Reversible Wirkung: Schaden bildet sich zurück, wenn Gift weg ist
Irreversible Wirkung: Schaden bleibt bestehen, wenn Gift weg ist



Reversible Wirkung



Irreversible Wirkung

Kumulative Wirkung / Anhäufung über eine längere Aufnahmedauer (Persistenz)
weil mehr aufgenommen wird als der Körper im gleichen Zeitraum ausscheidet



Kumulative Wirkung / Anhäufung

Toxikologische Studien zu allen möglichen Expositionsszenarien

Überwiegend Tierstudien, seltener Versuche im Reagenzglas (an Zellkulturen)

Akute Tox <i>in vivo</i>	Subchronische Tox <i>in vivo</i>	Chronische Tox <i>in vivo</i>	Repro Tox <i>in vivo</i>
Einmalige Exposition	Mehrmalige Exposition	Lebenslange Exposition	Eltern & Kind Exposition
Maus, Ratte, Meerschwein	90 Tage Ratte, Hund	2 Jahre Ratte & Maus	1-2 Generationen Ratte & Kanninchen
Relevante Expo. & Art der Effekte	Zielorgane & Zeitverlauf	Krebs	Fruchtbarkeit & Entwicklung
Oral, dermal, Inhalation Haut, Auge, Körper	Kumulative Effekte Reversible Effekte	Krebsrate, Latenzzeit Gutartig, bösartig	Fruchtbarkeit Eltern Entwicklung Kinder
Klassifizierung & Kennzeichnung	Dosis-Wirkungs-Kurve		
GHS EU CLP & US CLP	Schwellenwert NOEL, NOAEL, LOAEL		

Genotoxizität, Mutagenität (*in vitro*)

Veränderungen des Erbguts, vererbbar wenn Spermien und Eizellen betroffen sind

Beispiel: Studien zur Untersuchung der Toxizität von Pflanzenschutzmitteln

Datenanforderungen laut Pflanzenschutzmittelverordnung, Anhang 5

	Ratte	Maus	Hund	Kaninchen	Meer- schwein	Zell- kultur
Akute Toxizität (auch Produkt)	✓			✓	✓	
Erbgutveränderung (Genotox)		✓				✓
Metabolismus und Aufnahme	✓					
Kurzzeittoxizität: 90 Tage	✓	✓	✓			
Kanzerogenität: 1-2 Jahre	✓	✓				
Entwicklungsstörungen	✓			✓		
Fortpflanzung: Mehrgenerationenstudie	✓					
Akute- und Kurzzeitneurotox (bei Verdacht)	✓					
Total	ca. 26 Studien					

*PSM: Pflanzenschutzmitteln, Referenz: Emanuel Hänggi, BLV

Kosten (2023) und Dauer einiger toxikologischer Studien

Gesamtdauer Testbatterie: 8+ Jahre

Study type*	Kosten K US \$
4 Wochen Ratte	300'000
4 Wochen Hund	400'000
13 Wochen Ratte	500'000
13 Wochen Hund	500'000
26 Wochen Ratte	900'000
26 Wochen Kanzerogenitätsstudie Maus	850'000
104 Wochen Kanzerogenitätsstudie Ratte (> 1'000 Tiere im Test)	1'700 000

* See e.g., OECD Test Guidelines for Chemicals:

<https://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/oecdguidelinesforthetestingofchemicals.htm>

Paracelsus (1494 – 1541)

Die Dosis macht das Gift



Grundannahme der Risikobewertung:

→ Es gibt (meist) eine sichere Dosis (Schwellenwert, Grenzwert)

→ Je höher die Dosis, umso stärker der Gesundheitsschaden

Dosis-Wirkungs-Kurve

Schwere und Ausmass der Schäden

Schwere des Effektes

Steigt der Schweregrad des Schadens mit steigender Dosis?

- Bin ich nur angeschlagen oder ernsthaft krank?
- Klassifizierung der Schäden im Tierversuch nach Schweregrad

Häufigkeit des Effektes

Steigt die Häufigkeit der Erkrankung mit der Dosis?

- Erkranken mehr Personen? (Inzidenz)
- Anzahl der Tiere mit dem gleichen Schweregrad des Schadens

Dosis-Wirkungskurve

Gruppen von Tieren werden mit mindestens drei aufsteigenden Dosen behandelt



Kontrolle

Unbehandelt

Nicht behandlungs-
bedingte Effekte



Gruppe 1

Niedrige Dosis

Max. Sicherheit!
Sicherer Grenzwert



Gruppe 2

Mittlere Dosis

Dosis-Trend?
Relevanzkriterium



Gruppe 3

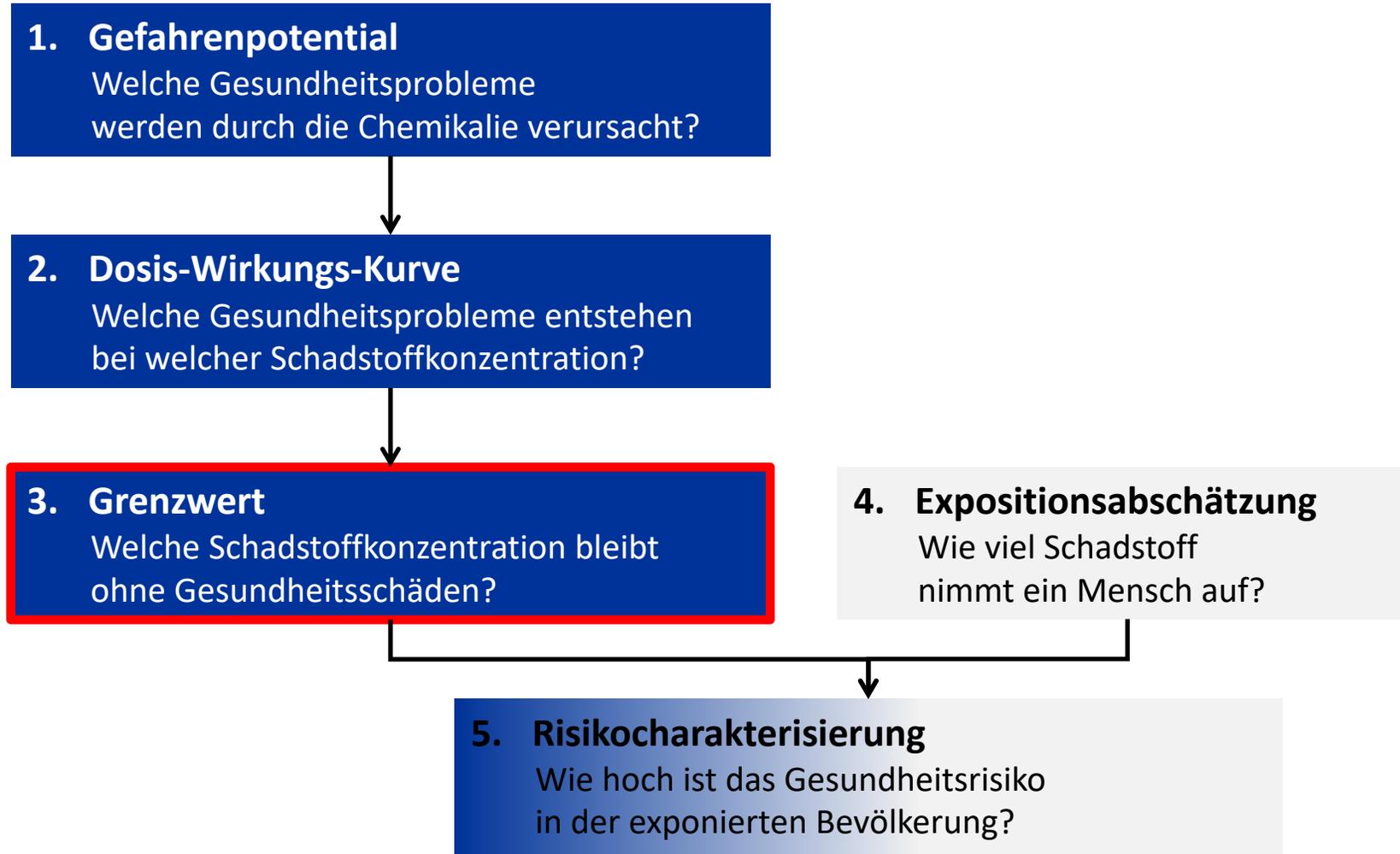
Hohe Dosis

Max. Gewissheit!
Gefahrennachweis

Mehr Schäden mit steigender Dosis? →

Humantoxikologische Risikobeurteilung ist ein Mehrstufenprozess

Welches Gesundheitsrisiko besteht und wie gross ist es?



Grenzwert auf der Basis von Sicherheitsfaktoren (SF)

Standardsicherheitsfaktor: $10 * 10 = 100$

$$\text{Zulässiger Grenzwert} = \frac{\text{Dosis ohne Schäden im empfindlichsten Tier (NOEL}_{\min})}{SF_1 * SF_2 * SF_3}$$



Empfindlichkeitsunterschiede
zwischen Mensch und Tier

↓

SF₁ = 10*



Empfindlichkeitsunterschiede
innerhalb einer Spezies

↓

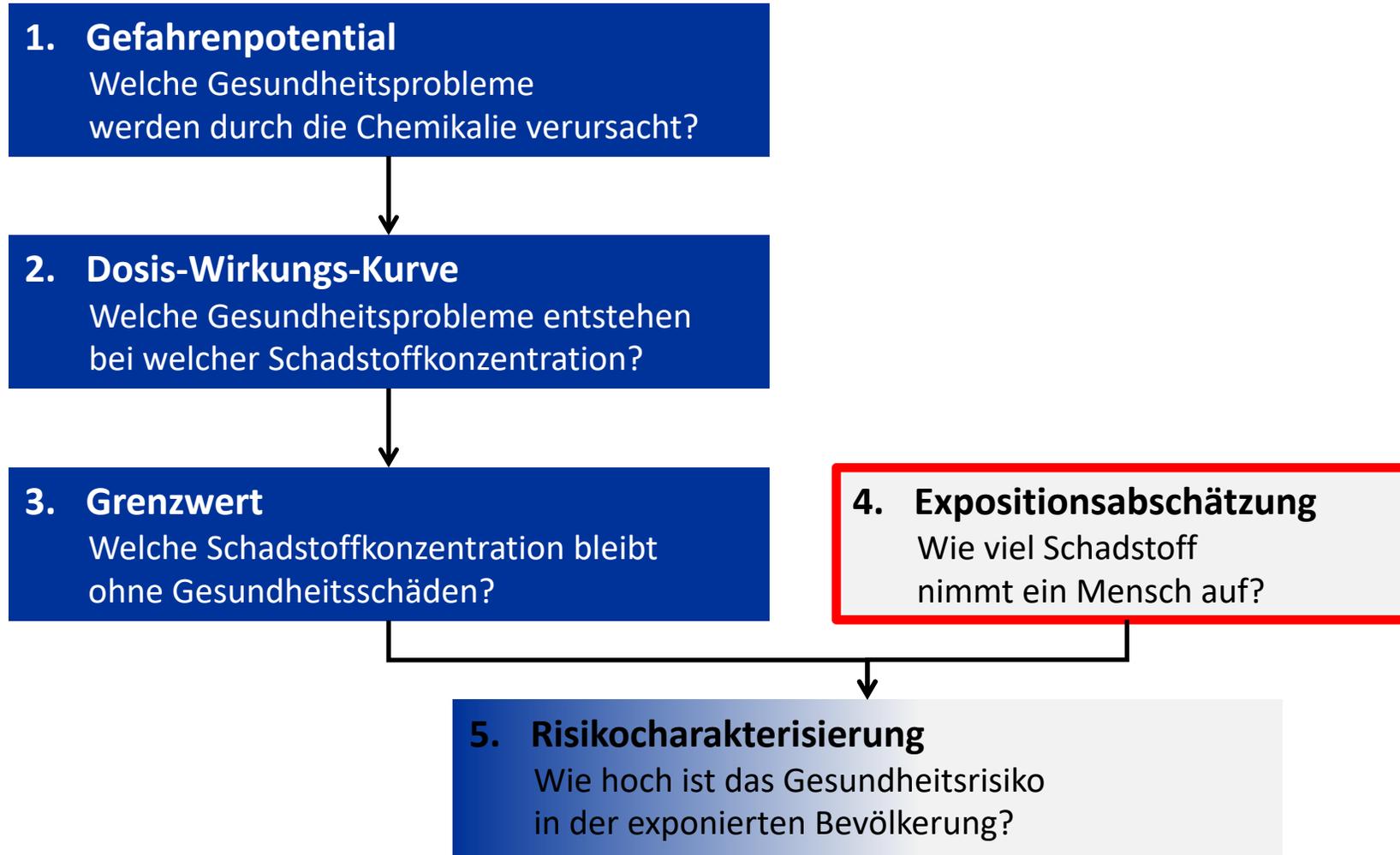
SF₂ = 10*

* Basierend auf allometrischen Faktoren (Unterschieden in physiologischen Parametern)
z.B. Wachstumsrate von Organen, dem Energieverbrauch, dem Herzschlagvolumen, der Sauerstoffaufnahme, ...

* Erkenntnissen aus der Medikamentenverschreibung

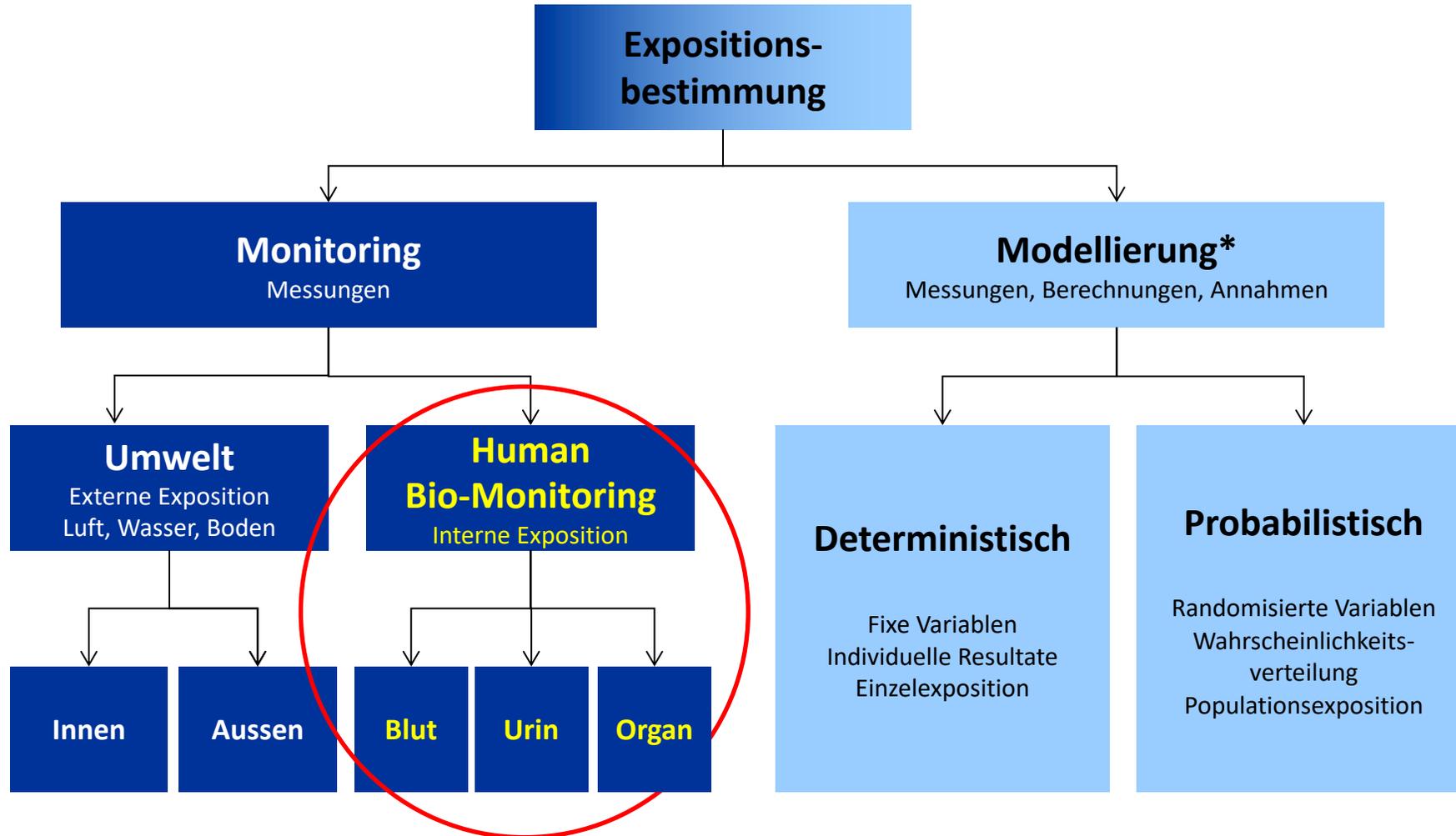
Humantoxikologische Risikobeurteilung ist ein Mehrstufenprozess

Welches Gesundheitsrisiko besteht und wie gross ist es?



Es gibt verschieden Methoden zur Expositionsbestimmung

Interne Exposition am relevantesten für die Risikobeurteilung



* Vorteile des computergestützten Modellierens gegenüber dem Monitoring:
Scheller & billiger, auf grosse Populationen anwendbar, Vergangenheit, Zukunft und Alternativszenarien können modelliert werden.

Human Biomonitoring in der Schweiz (2021)

Pilotphase der Schweizer Gesundheitsstudie abgeschlossen, aber Hauptstudie abgelehnt



Für mich. Für alle.
Schweizer Gesundheitsstudie

Unterstützt vom Bundesamt
für Gesundheit (BAG)

DE FR IT

Menü 



Risikocharakterisierung

Vergleich des zulässigen Grenzwertes mit der geschätzten Exposition



Exposition < Grenzwert

Risiko unwahrscheinlich



Exposition > Grenzwert

Risiko möglich

Herausforderung Mischungstoxizität

Unterschätzt die traditionelle Einzelstoffbewertung das Risiko von Chemikalienmischungen?

Theorie

Traditionelle Risikobewertung
durch Evaluation von Einzelsubstanzen

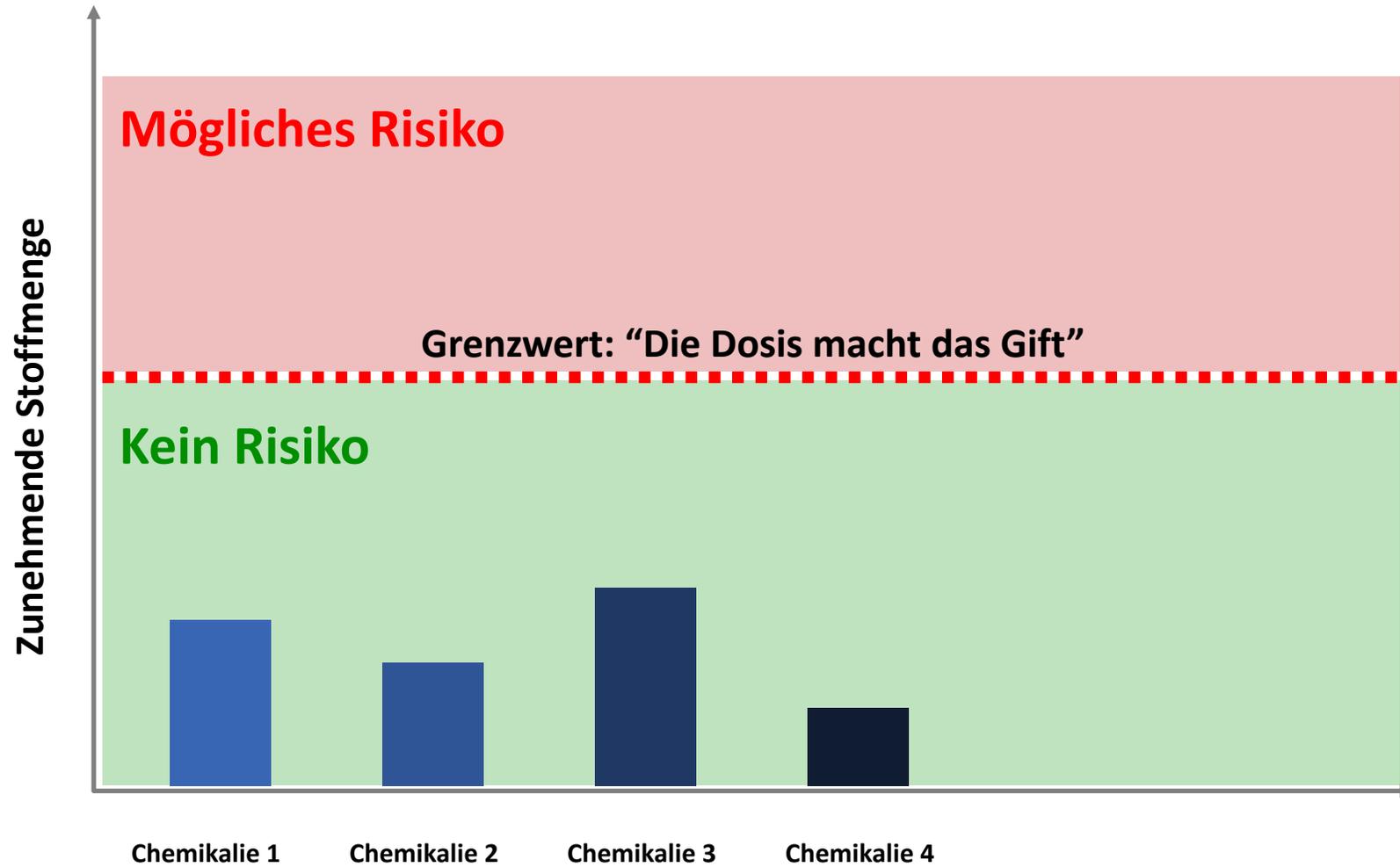


Praxis

Im Alltag sind wir gleichzeitig
einem Mix aus vielen Chemikalien ausgesetzt

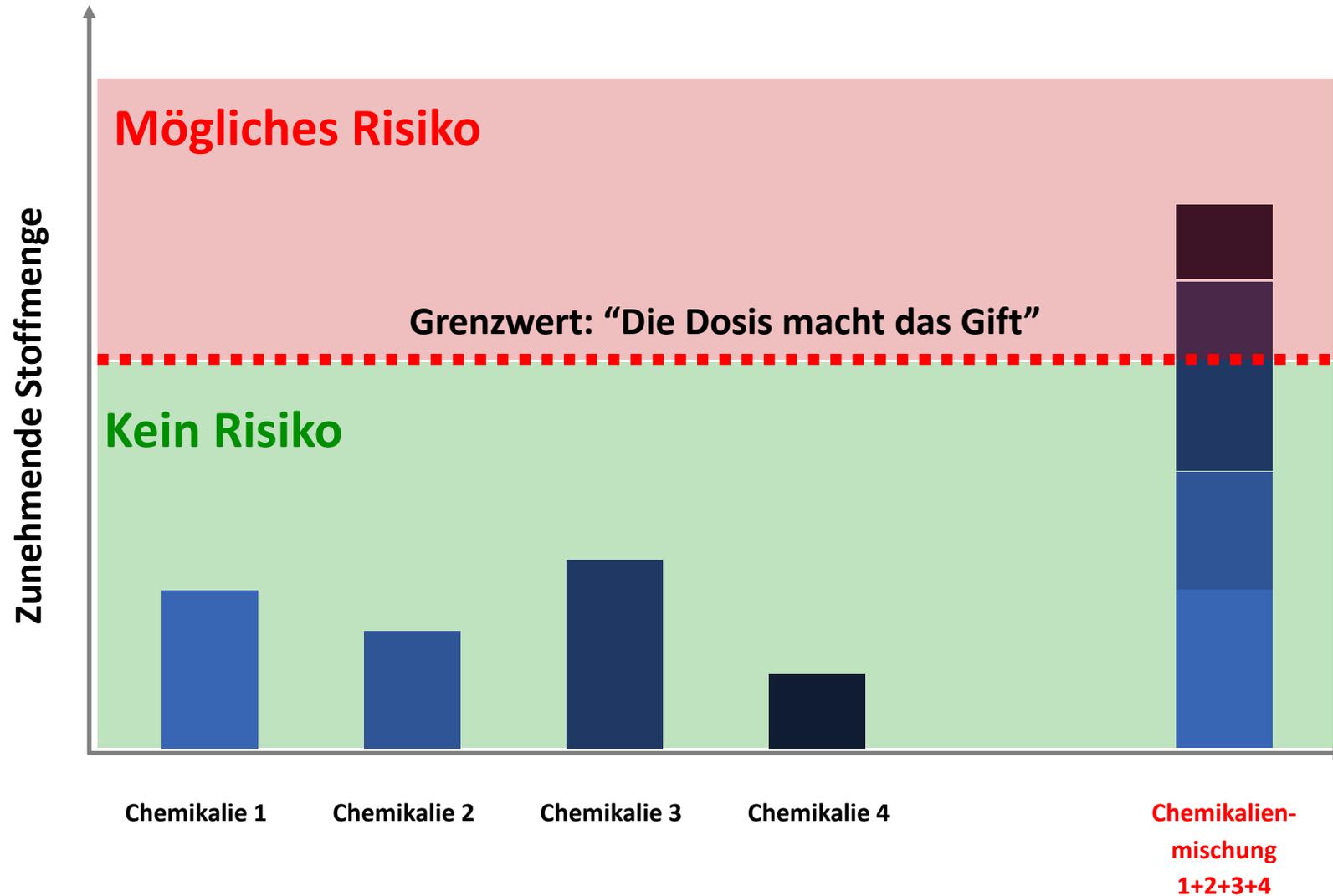


Chemikalien kommen in der Umwelt oft in kleinen Mengen vor Sind sie deshalb zwangsläufig unschädlich?



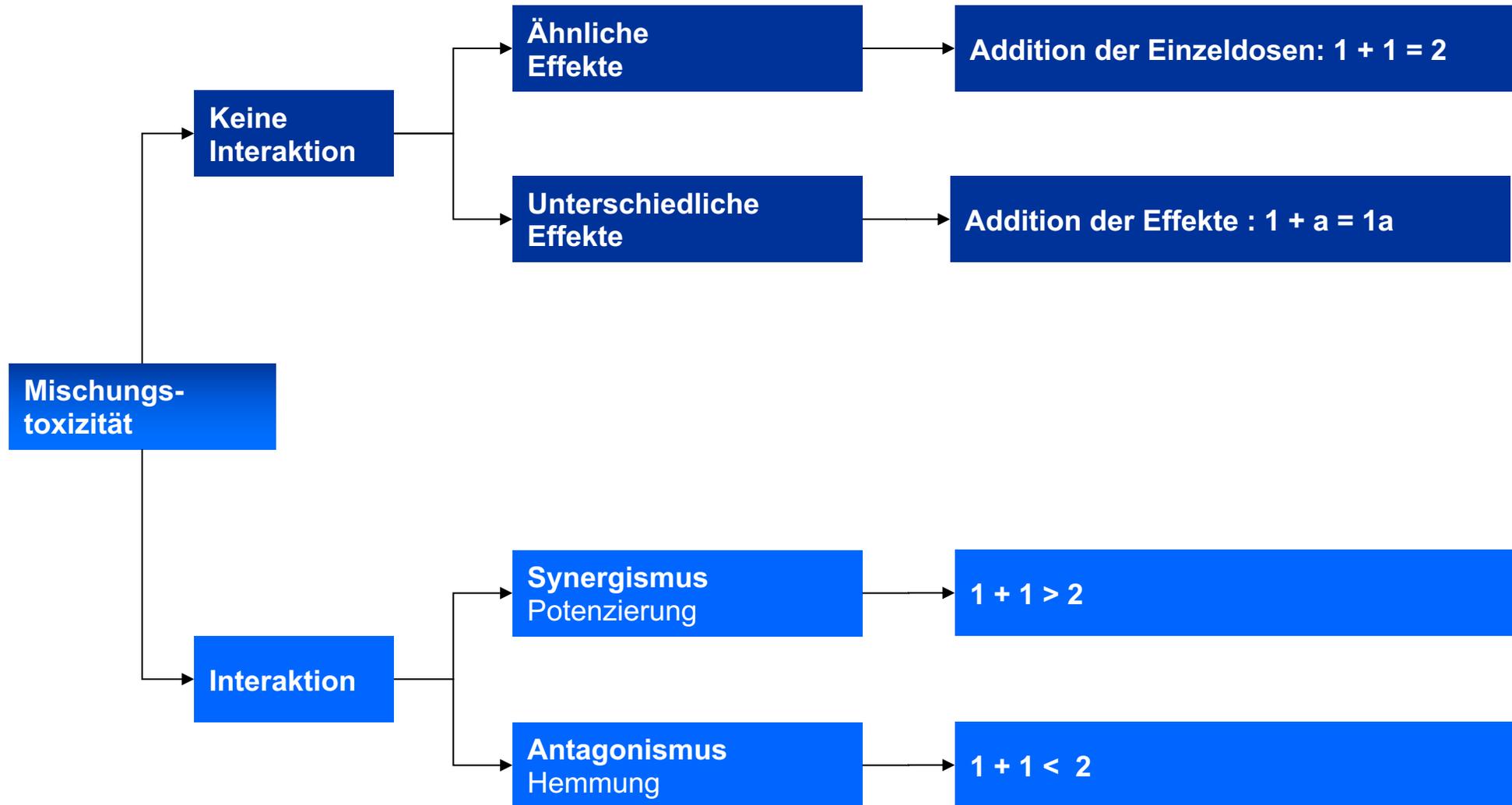
Mischungstoxizität: "Etwas aus dem Nichts"

Toxische Wirkung durch Kombination sicherer Einzeldosen?



Prinzipien der Mischungstoxizität

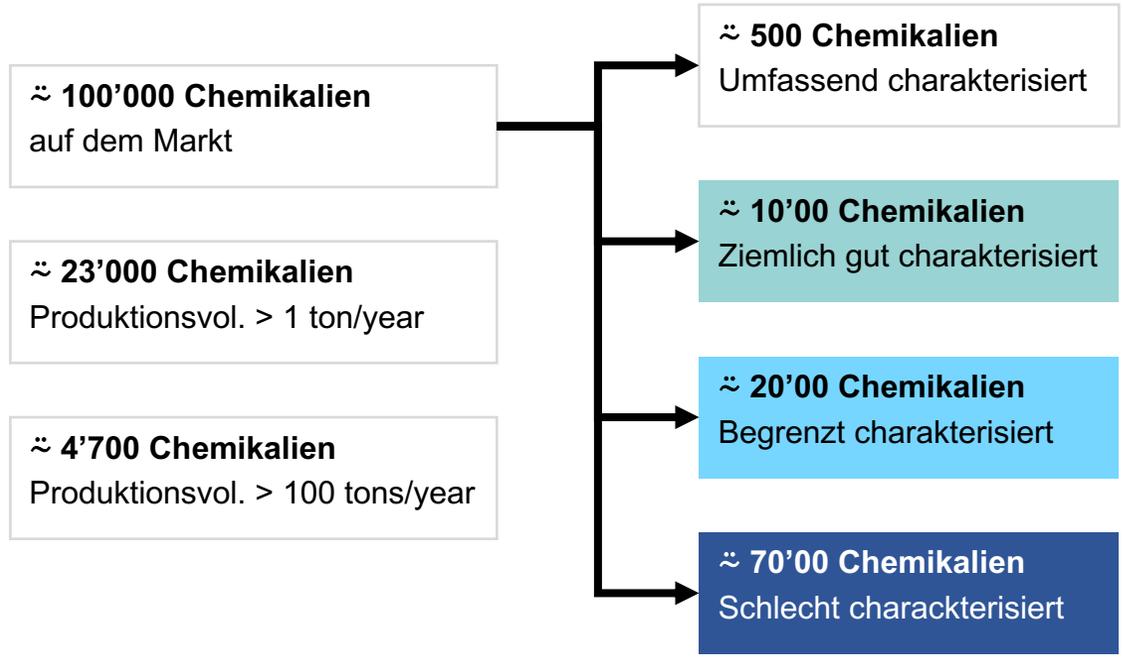
Vier unterschiedliche Szenarien



Herausforderung Wissenslücken

Grosse Wissenslücke

Viele Chemikalien sind toxikologisch nicht gut untersucht



REACH-Revision. Höhere Datenanforderungen für mehr Chemikalien

Tierversuchsfreie Methoden nötig, um Anforderungen zu erfüllen

REACH: Informationsanforderungen steigen mit dem Produktionsvolumen	
< 1 Tonne	Keine Registrierung notwendig
1-10 Tonnen	<ul style="list-style-type: none"> Skin & eye corrosion/irritation in vitro, skin sensitization Mutagenicity (only gene mutation in bacteria) Acute oral toxicity
10-100 Tonnen	<ul style="list-style-type: none"> + Mutagenicity (cytogenicity & gene mutation in mammalian cells) + Acute toxicity by inhalation or by dermal route + Short-term repeated dose toxicity (28 days) + Screening for reproductive/developmental toxicity
100-1000 Tonnen	<ul style="list-style-type: none"> + Sub-chronic toxicity (90 days) + Two generation reproductive toxicity
> 1000 Tonnen	<ul style="list-style-type: none"> + Developmental toxicity study + Carcinogenicity study (18 month - 2 years)

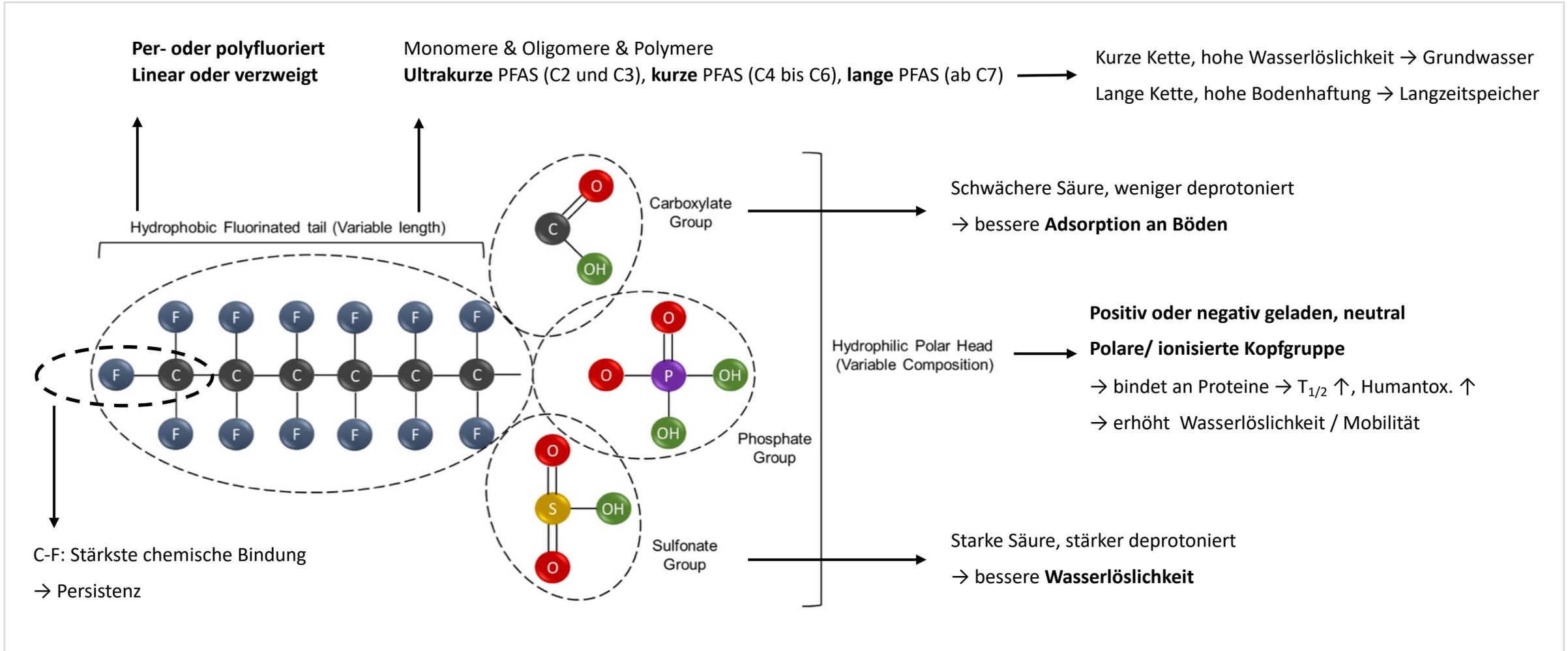
REACH Revision:
Neue Gefahrenklassen:
Endocrine disruption
PBT, vPvB
PMT, vPvM
Neue Beurteilungskriterien für:
Immuntoxizität
Neurotoxizität

REACH revision will affect 14'000 chemicals
--

Herausforderung PFAS

PFAS - Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen

Mehr als 4000 «Ewigkeitschemikalien» mit vielfältiger Struktur und unterschiedlichem Verhalten



PFAS sind mobil genug, um Gewässer zu belasten,
aber gleichzeitig persistent und sorptiv genug, um Böden langfristig zu kontaminieren.

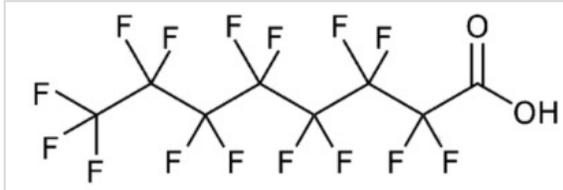
Warum sind PFAS so komplex?

PFAS ist nicht gleich PFAS

Eine Stoffgruppe – tausend Gesichter: physikalisch, chemisch, biologisch und toxikologisch

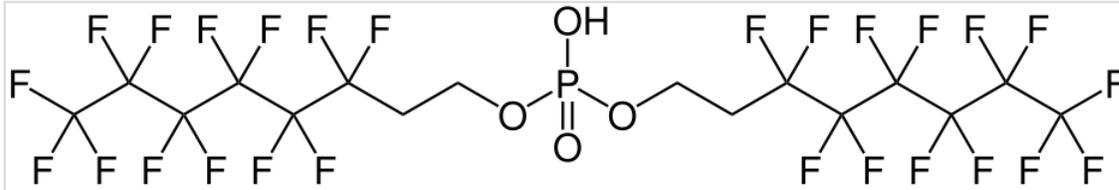
Monomere PFAS

z.B.: PFOA
Perfluorooctansäure



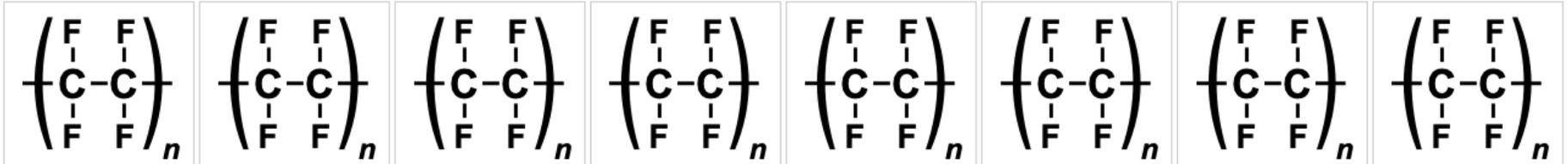
Oligomere PFAS

z.B.: 6:2-DiPAP
6:2 Di-perfluoralkylphosphat



Polymere PFAS (Kunststoffe)

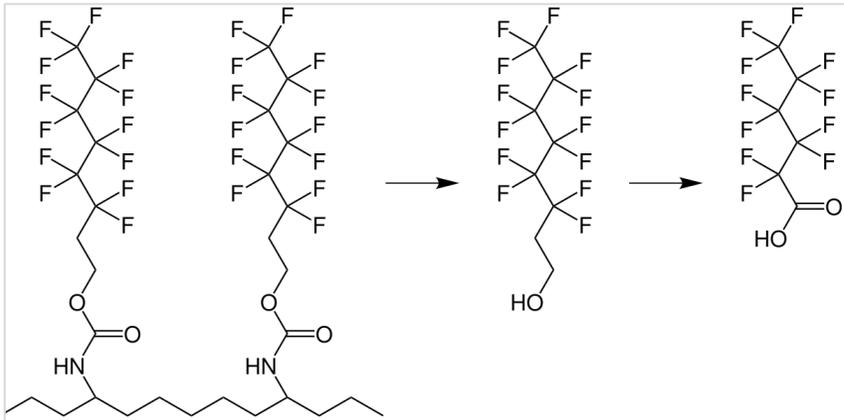
z.B.: (PTFE) Teflon®
Polytetrafluoroethylen



Seitenketten-Polymere (SCFPs)

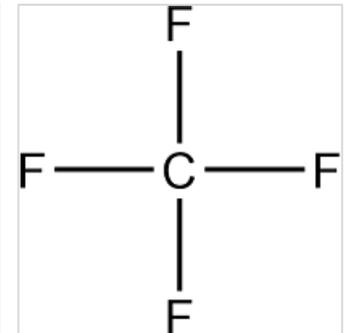
z.B.: Fluoracrylate, Fluorurethane

→ Abbau zu niedermolekularen PFAS



Gasförmige PFAS

z.B.: CF4, Kältemittel, Dämmstoffe
→ PFAS als FCKW-Ersatz
(Ozonschutz)
→ aber auch PFAS als Treibhausgase
(regrettable substitute)



Warum nutzen wir PFAS?

PFAS – Chemie der Extreme

Alleskönner in Industrie- und Alltag

Chemisch inert und thermisch stabil

gegen Säuren, Basen, Oxidation und Hitze

→ für Anwendungen unter Extrembedingungen

Tensid-Wirkung

wasser-, öl-, und schmutzabweisend

→ für Beschichtungen, Imprägnierungen, Löschschäume

Antihaft-Wirkung

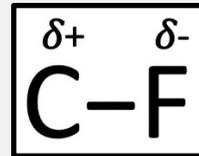
Glatte, chemisch inerte Oberfläche

→ für Schmierstoffe, Lager, Dichtungen, Medizinprodukte, Putzmittel OP

Elektrische Isolation

„F“ ist stark elektronegativ und hält die Elektronen fest

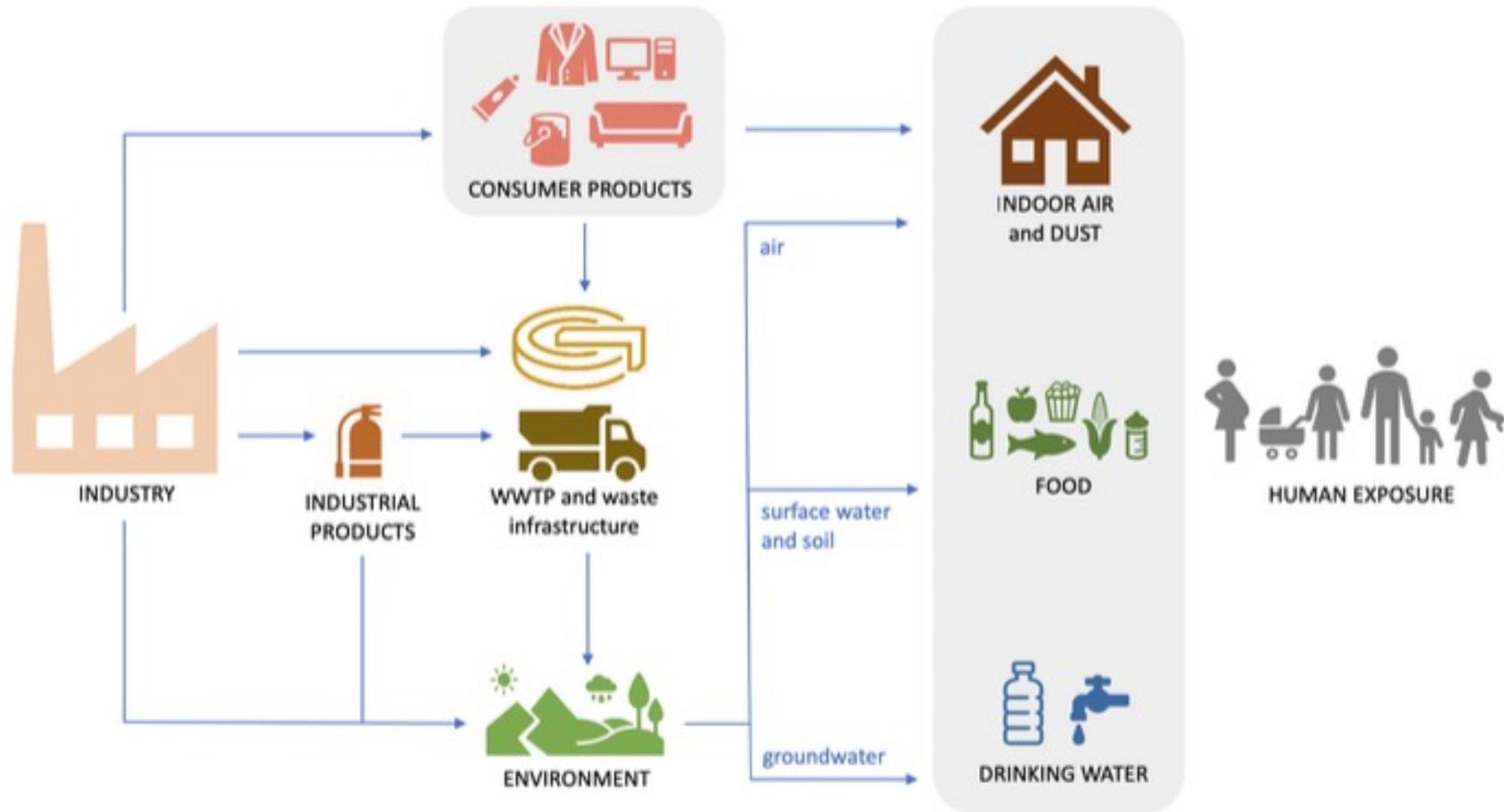
→ für Kabelummantelungen, elektronische Bauteile



Was ist das Problem mit PFAS?

PFAS – Alleskönner mit Schattenseiten

Freisetzung bei Produktion, Nutzung und Entsorgung

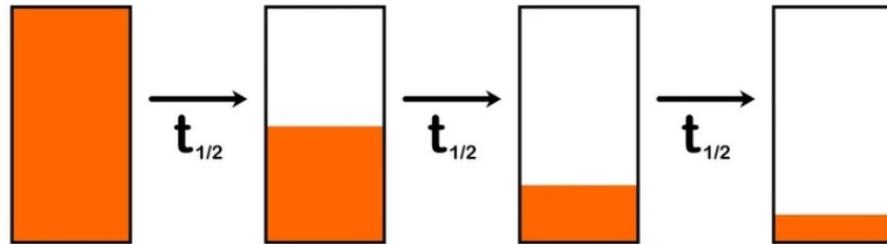


Akkumulation und Magnifikation in der Umwelt

PFAS – Extrem langlebig, schwer abbaubar, reichern sich in Umwelt und Organismen an

PFAS sind chemisch inert

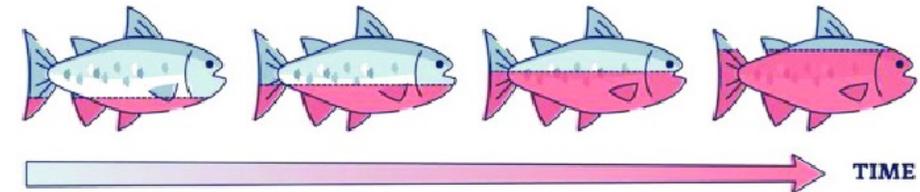
- Starke C-F-Bindung
- Kaum biologischer oder photochemischer Abbau
- Lange Verweildauer



Umweltverhalten

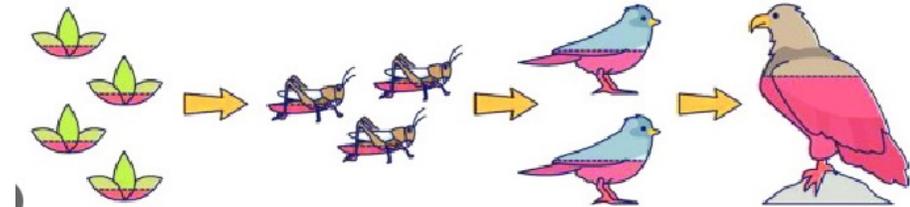
- Anreicherung im Boden, Wasser, Sediment
- Aufnahme durch Organismen (Bioakkumulation)
- Konzentrationszunahme entlang der Nahrungskette (Biomagnifikation)

BIOACCUMULATION



● CONTAMINANT

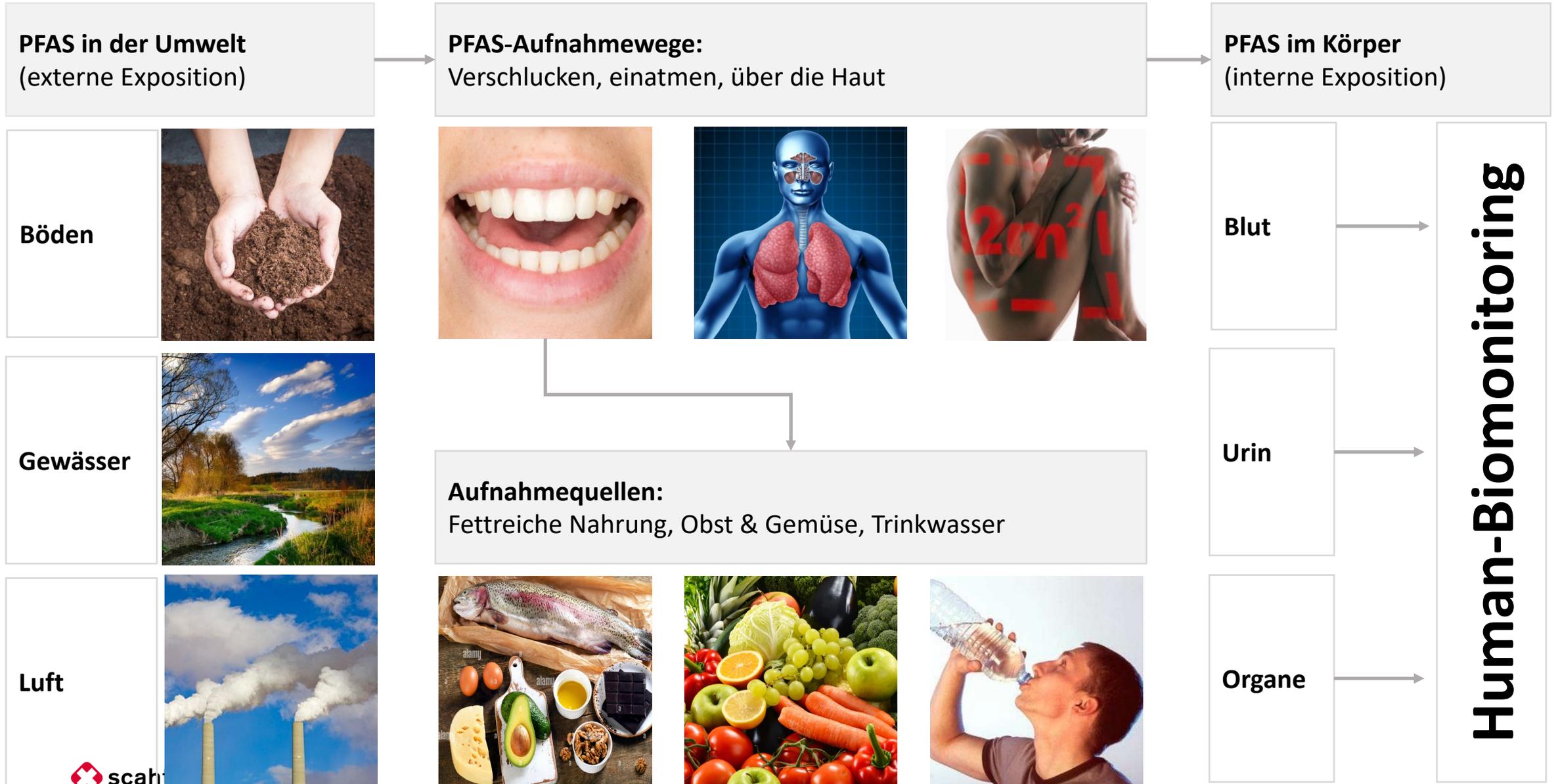
BIOMAGNIFICATION



Wie nehmen wir PFAS auf ?

Indirekte Gefahr für Menschen aus der Umwelt

Eintrag in den menschlichen Körper über die Nahrungskette



Wie schädlich sind PFAS für den Menschen?

PFAS – chemisch inert aber biologisch aktiv und systemisch wirksam

Wie wirken PFAS in unserem Körper

Bindung an Plasmaproteine (z.B. Albumin)

→ Verteilung über das Blut

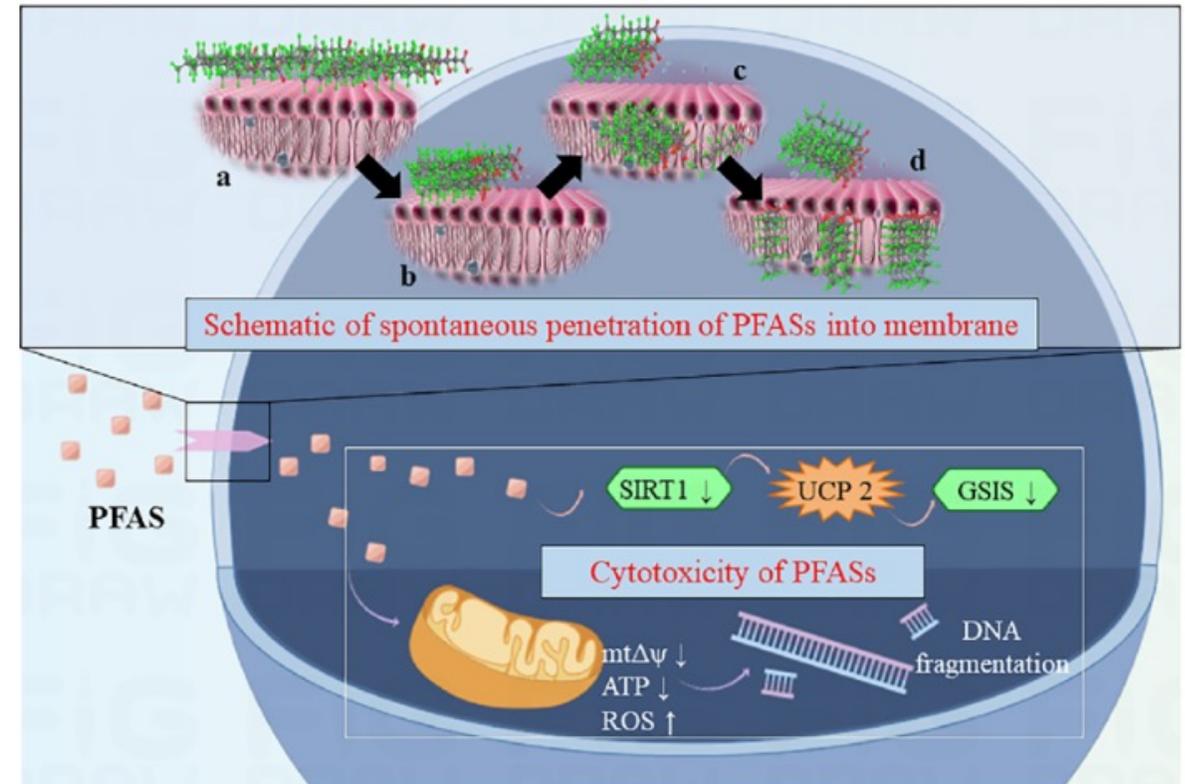
→ Wirkung im ganzen Körper

Strukturelle Ähnlichkeit mit Fettsäuren

→ Bindung an Zellmembranen und Rezeptoren

→ Aktivierung von Transkriptionsfaktoren

→ Veränderung im Stoffwechsel, Hormonhaushalt, ...



Gesundheitliche Risiken durch PFAS

Kein direkter Erbgutschaden – aber zahlreiche Krankheitsrisiken nach längerer Exposition (speziell langkettige)

Anreicherung im Körper

Kaum Abbau, langfristige Belastung

$T_{1/2}$: +3 Jahre (langkettige)

Immunsystem (am empfindlichsten)

Geschwächte Abwehr

Hormonsystem

Stoffwechselkrankheiten

(Diabetes, Leberschäden, Schilddrüse)

Entwicklungs- und Fruchtbarkeitsstörungen

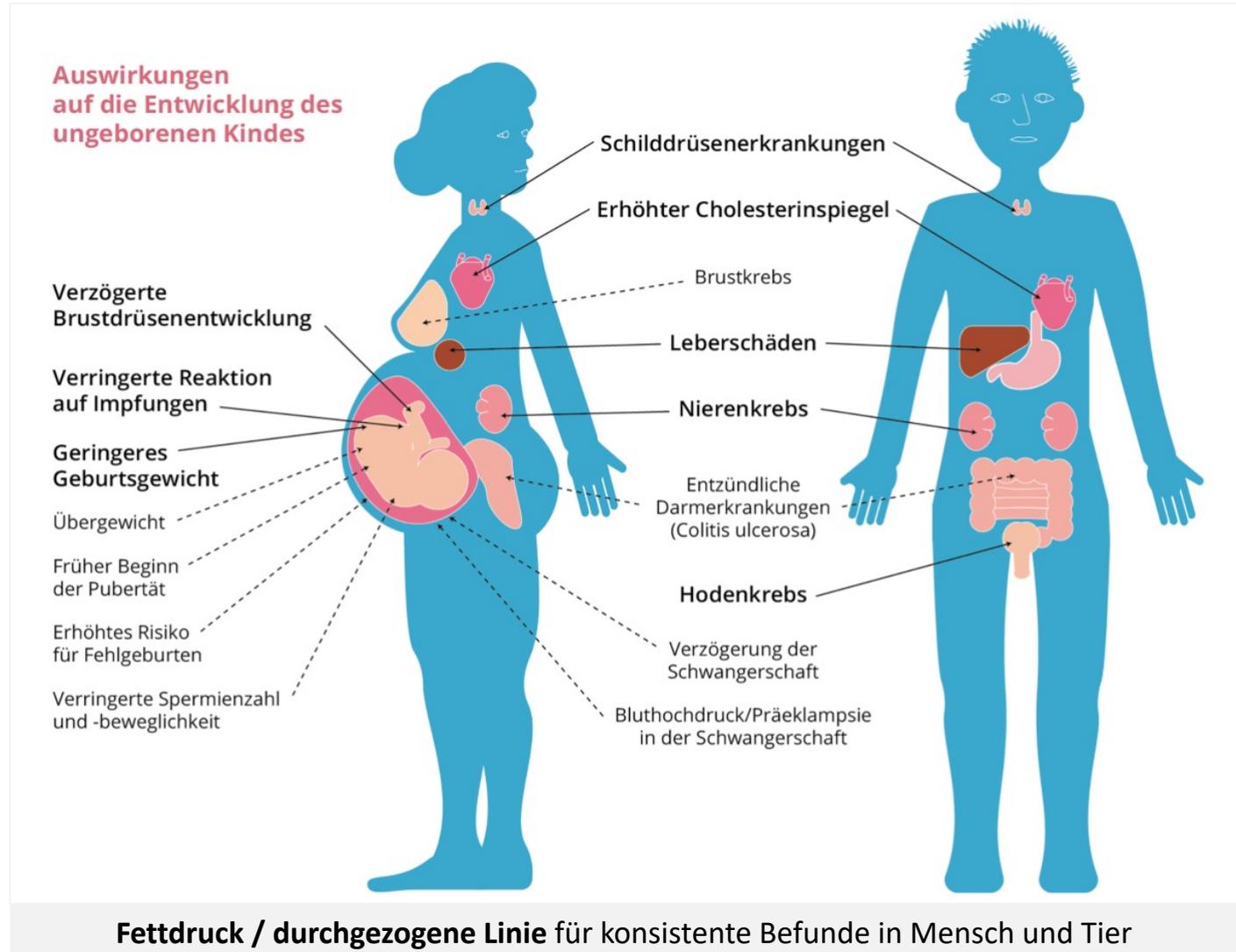
Krebsrisiken

Niere, Hoden

Wirkmechanismen

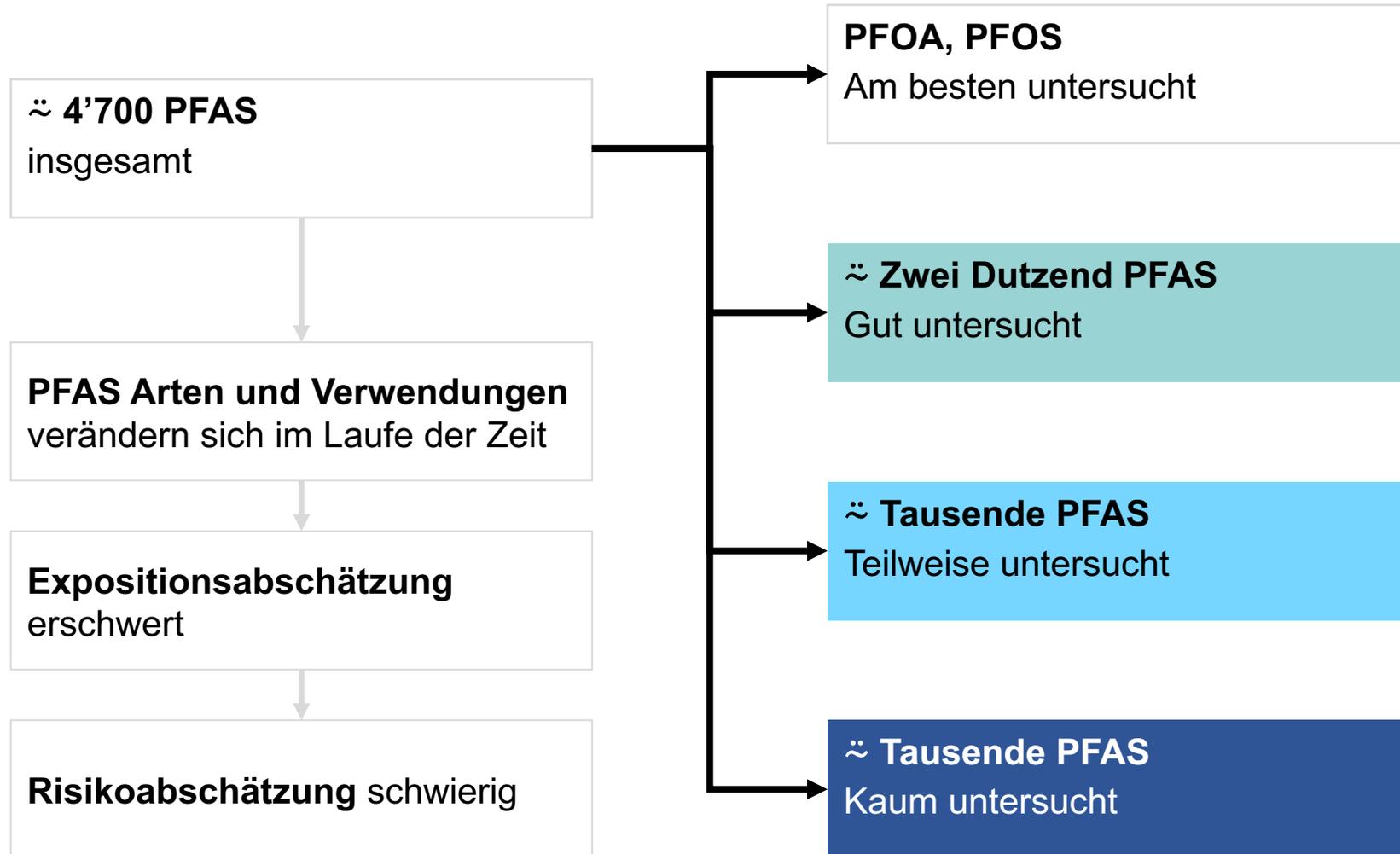
Vielfältig

Für die meisten Krankheiten ungeklärt



Herausforderung für die Risikobewertung

PFAS im Wandel – neue Stoffe & Anwendungen, unbekannte Exposition

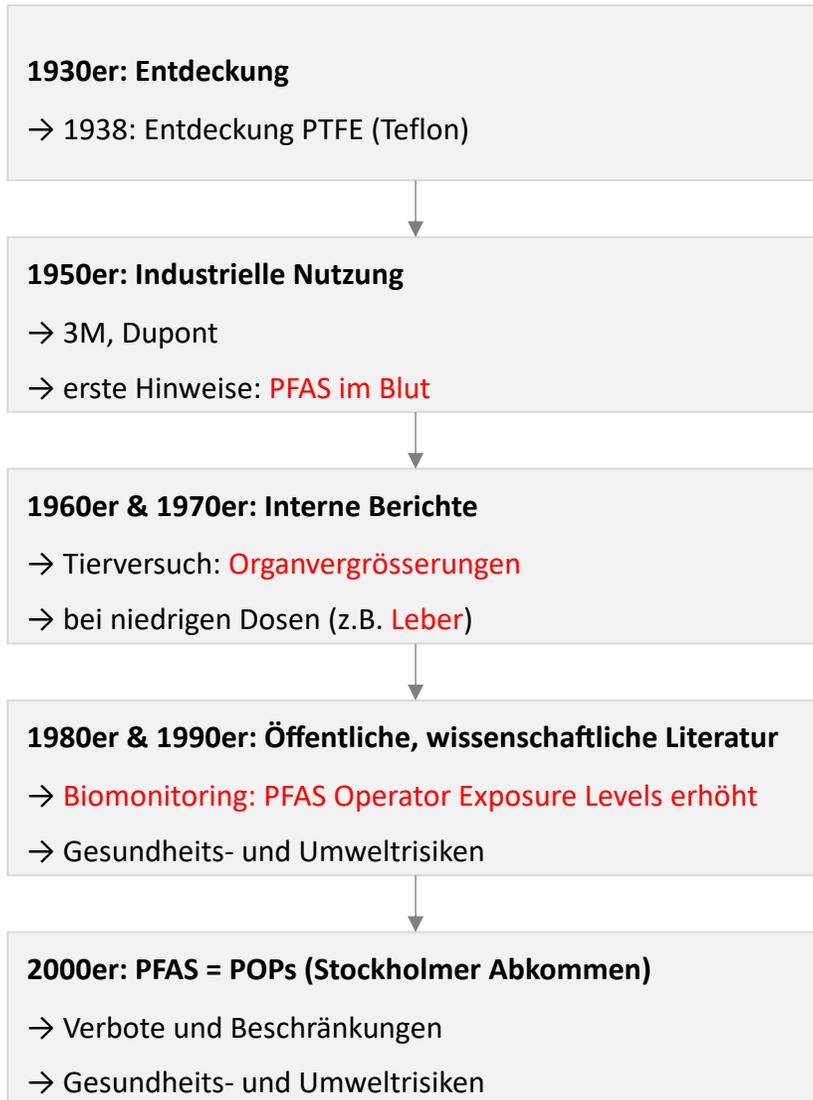


Wie schützen wir uns?

Gesundheitsbasierte Richtwerte

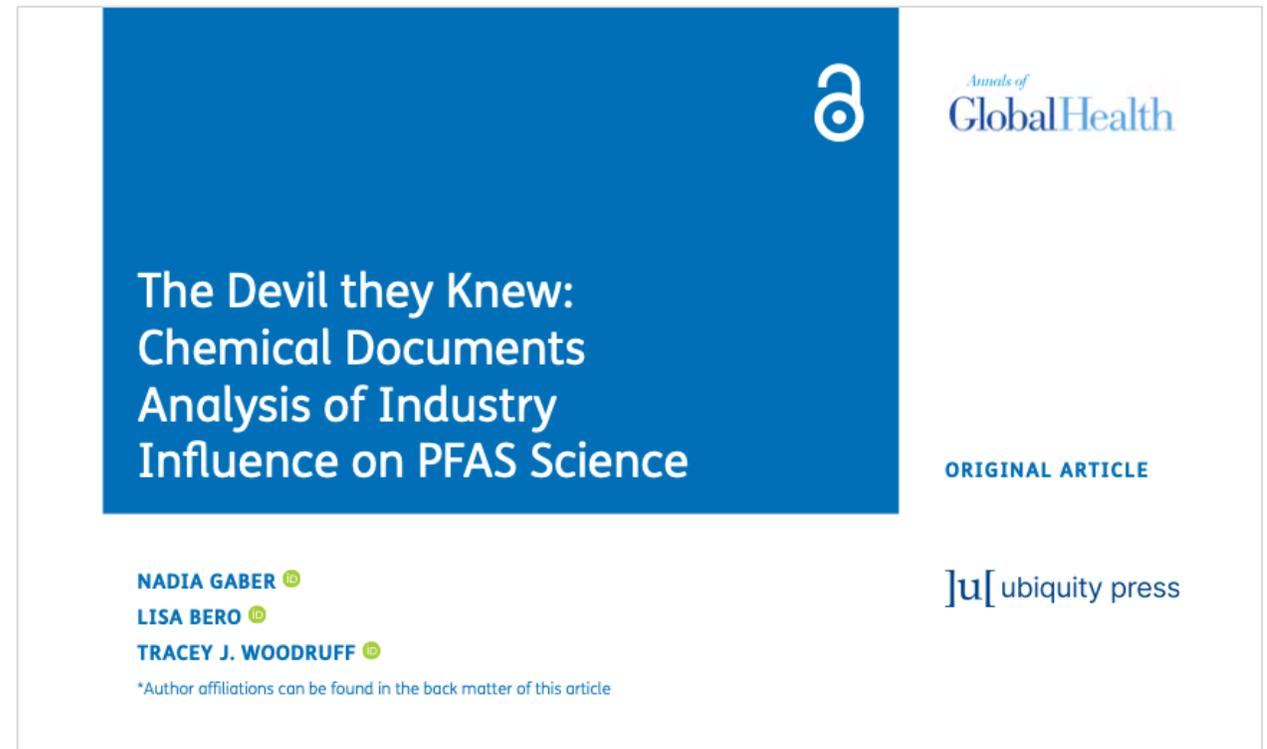
PFAS - Belastung

Lange Evidenz, späte Konsequenz



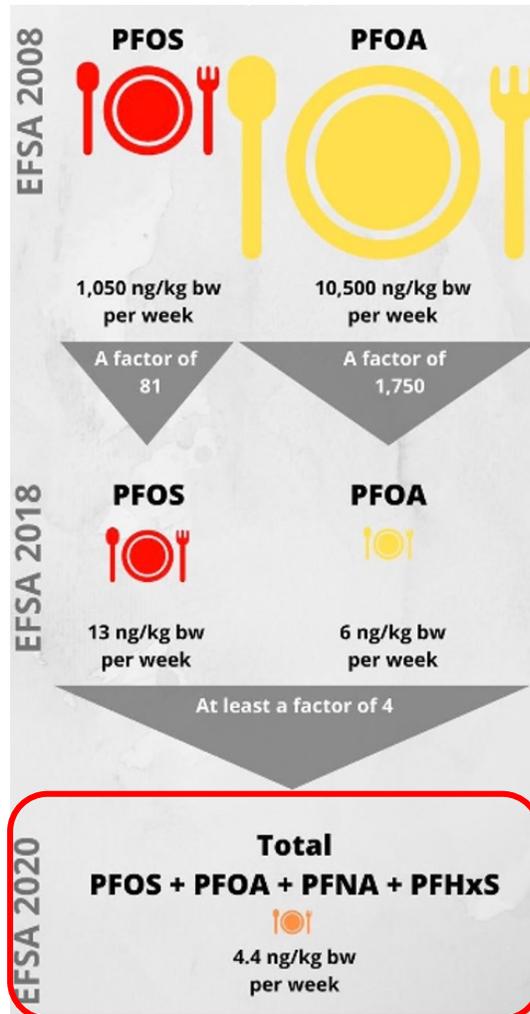
2020er: EC-Vorschlag Komplett-Verbot

- Verschärfung und Ausweitung der Grenzwerte! e.g EFSA 2021
- Wesentliche Verwendungszwecke «Essential uses»?
- Ersatzstoffe – «no regrettable substitutes»?



Grenzwerte im Wandel – niedrigere Werte für mehr PFAS und neue Zielorgane

PFAS schaden bereits in sehr niedrigen Konzentrationen der Gesundheit!



EFSA, 2020 Grenzwert zum Schutz vor Immuntoxizität bei Säuglingen

- \sum 4 PFAS: PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS;

Annahme: Alle vier PFAS gleich toxisch

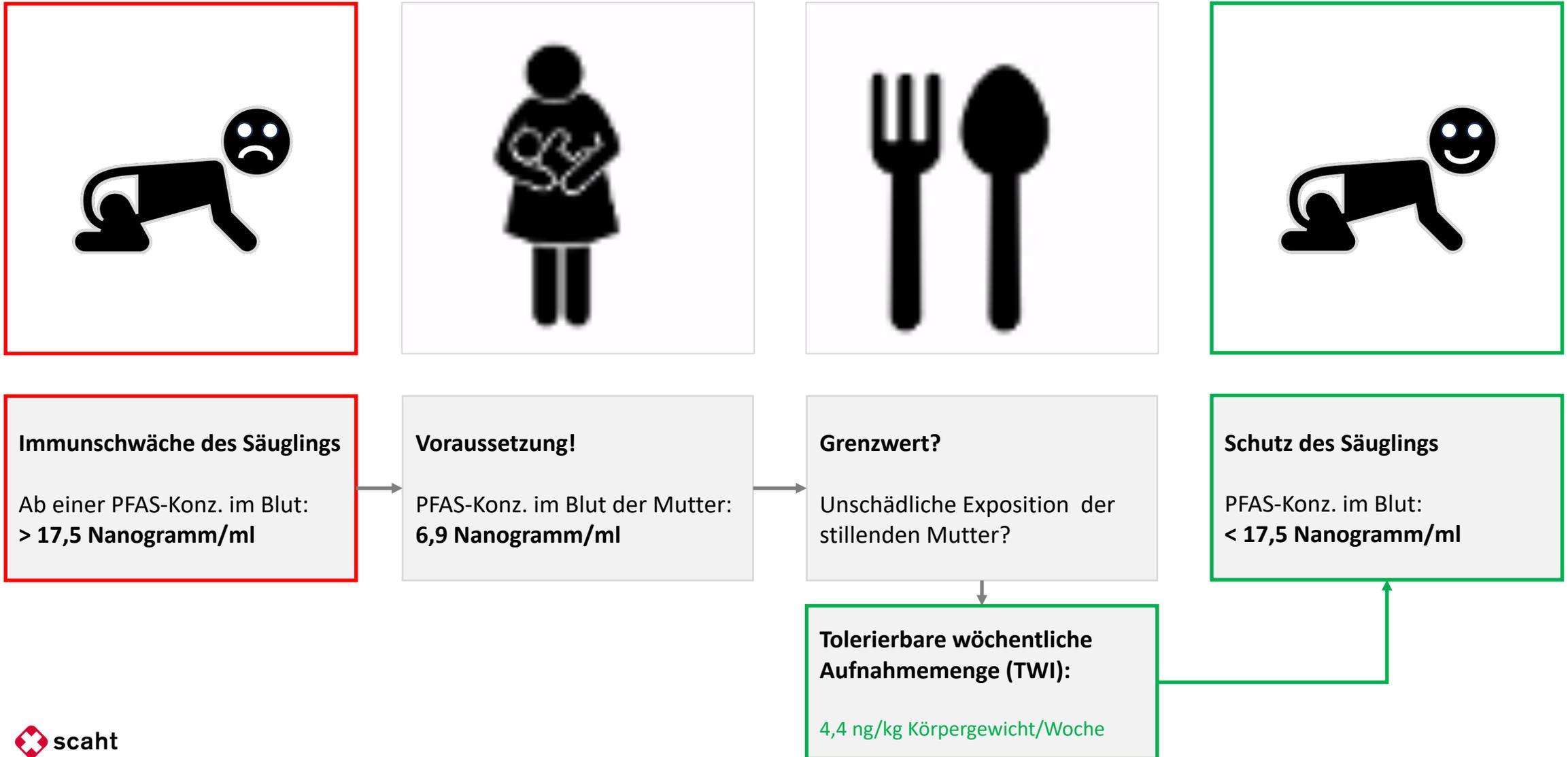
- \sum 4 PFAS = 80 bzw. 90% der nachgewiesenen mittleren PFAS-Belastung im Blut von Kindern bzw. Erwachsenen in EU/DE

- \sum 4 PFAS: TWI = 4,4 ng/kg/KG (TWI: Tolerable Weekly Intake)

schützt selbst empfindlichste Personen / Immunsystem der Säuglinge

Herleitung Grenzwert: EFSA 2021

Damit die Muttermilch den Säugling nicht schädigt, darf die Mutter nicht zu viel PFAS aufnehmen



Human-Biomonitoring

Wir nehmen mehr PFAS über die Nahrung auf, als gesund ist - besonders die Kinder

EFSA

Expositionsabschätzungen für Europa



Exposition Erwachsene

3 - 22 ng/kg KG / Woche (unterer Bereich)
9 - 70 ng/kg KG 7Woche (95. Perzentil)



Exposition Kinder

Doppelt so hoch wie bei Erwachsenen

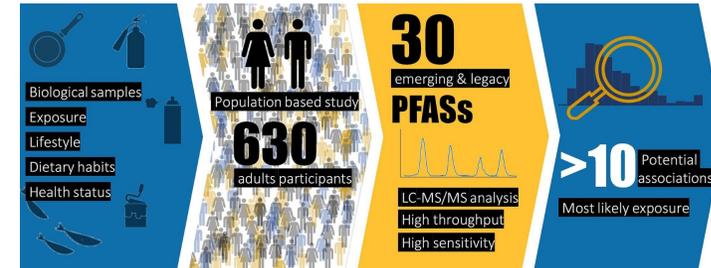


Gesundheitsrisiko, weil

Diätische Exposition > 4,4 ng/kg KG / Woche (TWI)

Schweizer

Gesundheitsstudie



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412025001333>

Human-Biomonitoring-Daten aus der Schweiz

41% der gebärfähigen Frauen mit PFAS-Konzentration im Blut über dem EFSA-Schwellenwert



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG
Direktionsbereich Gesundheitsschutz

August 2023

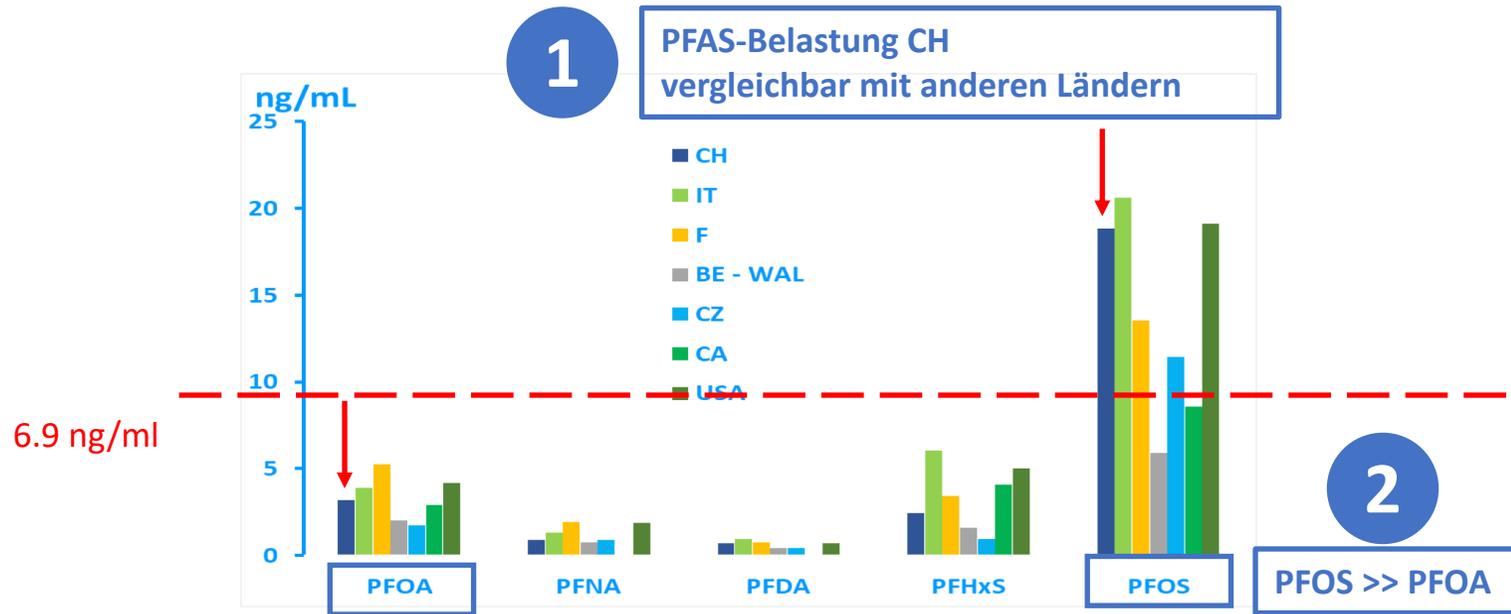
Pilotphase der Schweizer Gesundheitsstudie

Ergebnisse des Humanbiomonitoring (HBM)



Für mich. Für alle.
Schweizer Gesundheitsstudie

3
 41% der gebärfähigen Frauen mit PFAS-Konzentration im Blut über dem EFSA-Schwellenwert von 6.9 ng/ml



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)

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	

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

Wir nehmen mehr PFAS über die Nahrung auf, als gesund ist - besonders die Kinder

Offene Fragen zur klinischen Relevanz, moderater Veränderungen von Krankheitsindikatoren

 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

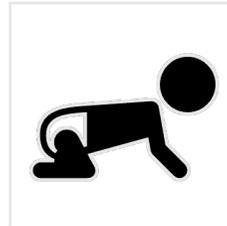
Ergebnisse des Humanbiomonitoring (HBM)

**41% der gebärfähigen Frauen mit
PFAS-Konzentration im Blut über dem
EFSA-Schwellenwert von 6.9 ng/ml**

 Für mich. Für alle.
Schweizer Gesundheitsstudie



Verringerte Immunantwort:
nur eine unerwünschte Wirkung?



Sind Kinder häufiger oder schwerer krank?
Was bedeutet das für Erwachsene?



Kompensation
durch Erhöhung der Impfdosis möglich?

Wie schützen wir uns vor PFAS?

Lebensmittelhöchstgehalte

Seit 2024 gelten in der Schweiz EU-Harmonisierte Höchstgehalte für PFAS in tierischen Lebensmitteln

Aus gesundheitlicher Sicht müssten die Höchstgehalte tiefer liegen (EFSA TWI)



Unterschiedliche Höchstgehalte je nach Lebensmittel und Verzehrhäufigkeit

Größere/ältere, fettreiche Fische sind stärker mit PFAS belastet als kleine Fische
→ Grenzwerte je nach Fischart / Lebensmittelart

Wir essen weniger Fisch als Fleisch
→ Fisch darf stärker belastet sein als Fleisch.

Höchstgehalte für :
PFNA, PFOS, PFHxS, PFOA
(Einzelstoffe + Summe):
0,2 µg/kg bis 50 µg/kg

Kontaminantenverordnung (VHK)
= Verordnung des EDI über Höchstgehalte an Kontaminanten

Trinkwasser

Geplant sind deutlich niedrigere Grenzwertvorschläge für mehr PFAS



Substanzen	Höchstwert
PFOS & PFHxS, je	Aktuell: 0,3 µg / l
PFOA	Aktuell: 0,5 µg / l
Σ 20 PFAS	Geplant: 0,1 µg / l ab etwa 2026

Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen - Trinkwasser- und Badegewässerverordnung (TBDV)

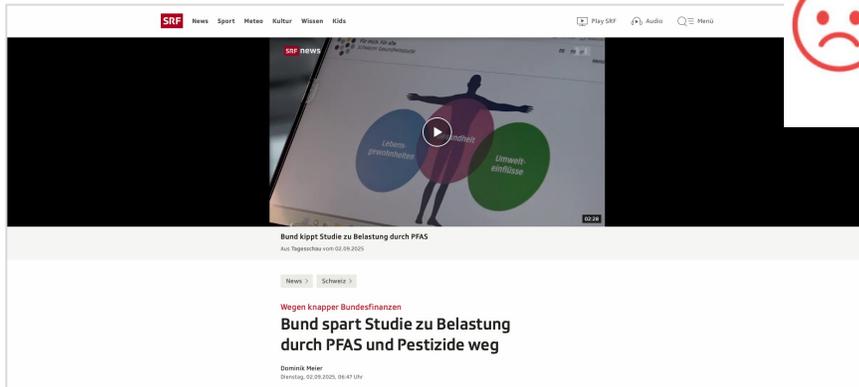
BLV: https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/stoffe-im-fokus/kontaminanten/per-und-polyfluorierte-alkylverbindungen-pfas.html?utm_source=chatgpt.com

Wie schützen wir uns vor PFAS?

Politische Vorstösse

PFAS in der Politik

Ist der politische Wille ist da ?



22.3929 MOTION

Festlegung von PFAS-spezifischen Werten in Verordnungen

Eingereicht von:



MARET MARIANNE

Die Mitte-Fraktion. Die Mitte. EVP.
Die Mitte

Berichterstattung:

BULLIARD-MARBACH CHRISTINE, MUNZ MARTINA

Einreichungsdatum:

15.09.2022

Eingereicht im:

Ständerat

Stand der Beratungen:

Überwiesen an den Bundesrat



22.4585 POSTULAT

Aktionsplan zur Reduktion der Belastung von Mensch und Umwelt durch langlebige Chemikalien

Eingereicht von:



MOSER TIANA ANGELINA

Grünliberale Fraktion
Grünliberale Partei

Bekämpfer/in:

BÜHLER MANFRED

Einreichungsdatum:

16.12.2022

Eingereicht im:

Nationalrat

Stand der Beratungen:

Überwiesen an den Bundesrat



Geplantes umfassendes EU-weites PFAS-Verbot unter REACH

Ausnahmen mit Übergangsfristen nur wenn technische Alternativen fehlen oder der Nutzen überwiegt



2023: Vorschlag bei der ECHA eingereicht

2023–2024: Öffentliche Konsultation und wissenschaftliche Bewertung durch RAC* und SEAC*

2025: Entscheidung der EU-Kommission über den finalen Beschränkungstext (erwartet)

Ab ca. 2026/27: Stufenweise Inkraftsetzung des Verbots

* Ausschuss für Risikobewertung (RAC) und sozioökonomische Analyse (SEAC)

PFAS-Verbote z.T. mit Ausnahmeregelungen und Übergangsfristen

Schweiz weitgehend harmonisiert mit EU

Substanz-gruppe (PFAS)	Global (Stockholm-Konvention)	EU (REACH / POP-Verordnung)	Schweiz ¹
PFOS und Derivate	2009	2008 bzw. 2010	2011
PFOA Salze, verwandte Stoffe	2019	2020	2021
PFHxS und Derivate	2022	2023	2022
Langkettige PFCAs (z. B. C ₉ –C ₁₄ , ggf. bis C ₂₁)	2025	2023	2022 ²
PFHxA und Derivate	—	2024	aktuell in Vorbereitung
Fluoralkylsilanole und Derivate	-	Falls Zerfall zu PFAS	2020

Die 4 EFSA PFAS
sind in der CH verboten:

- PFOA
- PFOS
- PFNA(C₉-C₁₄)
- PFHxS

¹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/chemicals/industrial-chemicals-by-substance/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfass.html>

²PFAS in der Umwelt, Medien-Hintergrundanlass PFAS, 18 Februar 2025, Simon Liechti, BAFU

Wieviele PFAS brauchen wir wirklich?

«Essentielle Verwendungen»

«Essential Uses»: Das PFAS-Dilemma in der Medizin

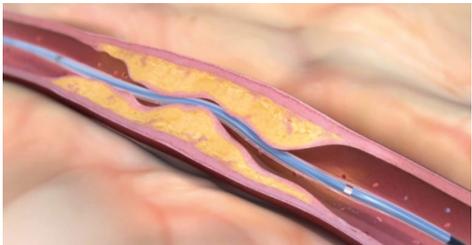
PFAS-Kunststoffe (Fluoropolymere) sind lebensrettend, aber eine Gefahr Mensch und Umwelt

Typische Einsatzbereiche sind:

- **Katheder & Schläuche** → leichtes Einführen
- **Implantate und Dichtungen** → Langlebige Gefäßprothesen, Herzklappen, Kunstherzen, Knochenschrauben, Dichtungen und Membranen
- **Antihafbeschichtungen von OP-Werkzeugen** → leicht zu reinigen, sterilisierbar
- **Drug Delivery** → gezielte Steuerung von Benetzbarkeit und Wirkstoffabgabe → kontrolliertes Freisetzen von Medikamenten / Depotwirkung

PFAS sind

- **Anti-adhäsiv** → Blut, Gewebe, Bakterien haften nicht an einem Implantat → keine Thrombose, leichtes Einführen von Kathedern und Schläuchen
- **Biokompatibel** → kaum Entzündungen oder Abstossungsreaktionen von Implantaten
- **Chemisch stabil** → reagieren nicht mit Körperflüssigkeiten oder Medikamenten
- **Thermisch stabil und strahlenbeständig** → sterilisierbar, geringer Verschleiss, lange Lebensdauer von Implantaten, leichtes Reinigen von OP-Werkzeug
- **Elektrisch isolierend** → für Kabel, Sensoren, ...



Muss es immer PFAS sein?

Vermeidung unnötiger „Superlösungen“

Verfügbarkeit von Alternativen für 251 PFAS-haltige Anwendungen

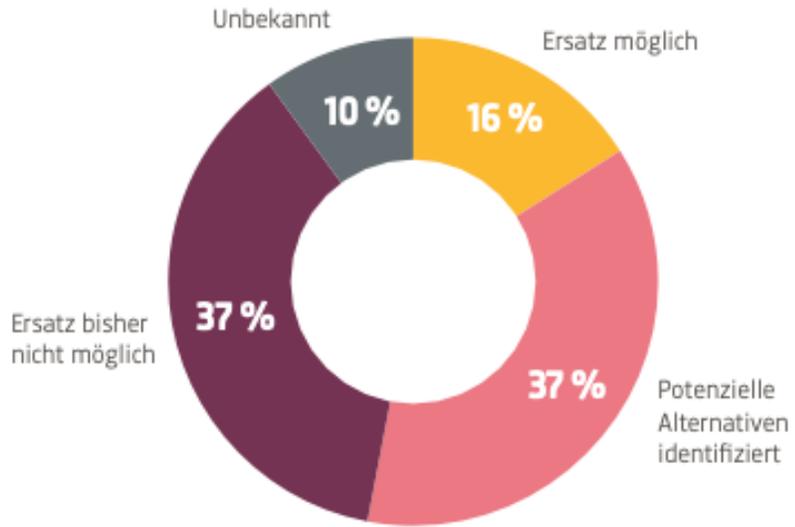


Abbildung 4: Ersatz möglich = Eine Alternative mit gleicher Performance verfügbar. Potenzielle Alternativen identifiziert = Mehr Zeit und Informationen nötig. Ersatz bisher nicht möglich = Bisher keine Alternative identifiziert oder im frühen Entwicklungsstadium. Quelle: Figüière et al. (2024)

«Over Engineering» zu Lasten der Nachhaltigkeit

Systeme oder Produkte sind komplexer oder leistungsfähiger als nötig

→ höhere Kosten, Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung

Beispiel 1: Outdoorjacken werden mit PFAS imprägniert, damit sie Öl und Chemikalien abweisen – obwohl für den Alltag eigentlich nur Wasserabweisung gebraucht wird.

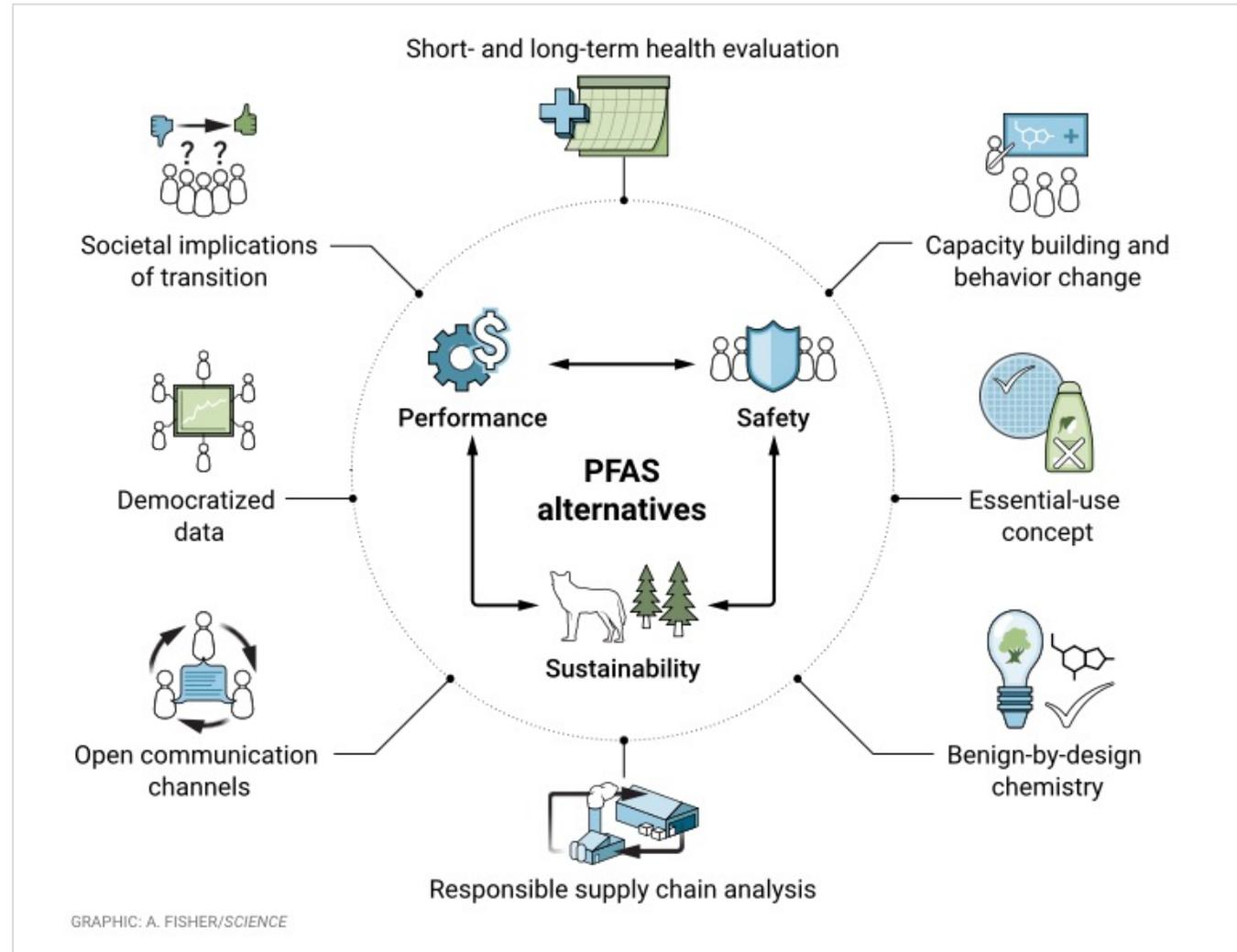
Beispiel 2: Fast-Food-Verpackungen werden PFAS-beschichtet, um auch gegen sehr heiße Öle resistent zu sein – obwohl das Risiko im Normalgebrauch gering ist.

Beispiel 3: Feuerlöschschäume mit PFAS sind extrem wirksam und langlebig, aber in vielen Einsatzszenarien wären auch weniger problematische Schaummittel ausreichend.

PFAS-Ersatz ist vor allem dort schwierig, wo eine Kombination verschiedener Eigenschaften gefordert ist.

Muss es immer PFAS sein?

PFAS-Alternativen erfordern eine sorgfältige Abwägung von Kompromissen



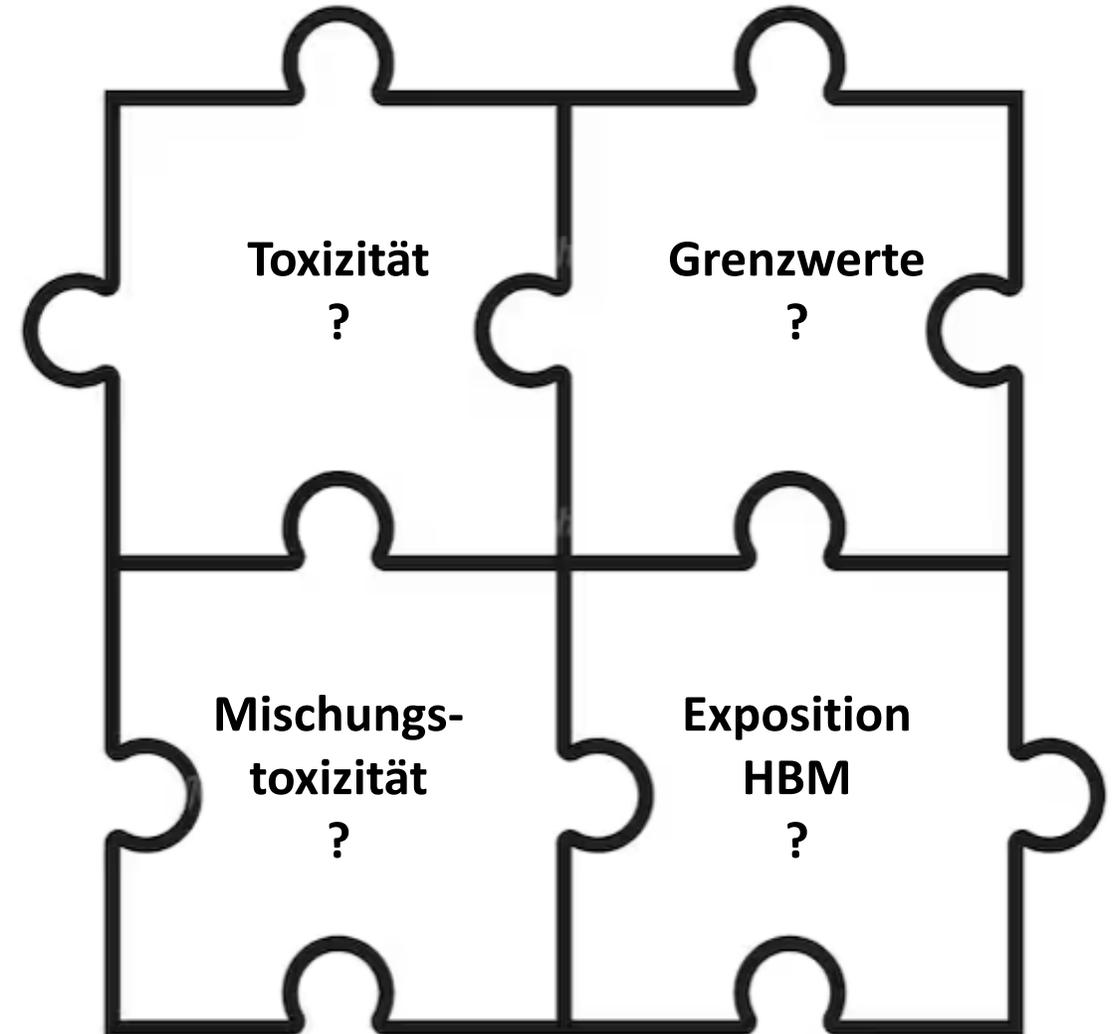
Herausforderungen

Fazit aus humantoxikologischer Sicht

Der Erfolg der Risikominimierungsmassnahmen (Einschränkungen & Verboten) ist schwer abzuschätzen

Es fehlen:

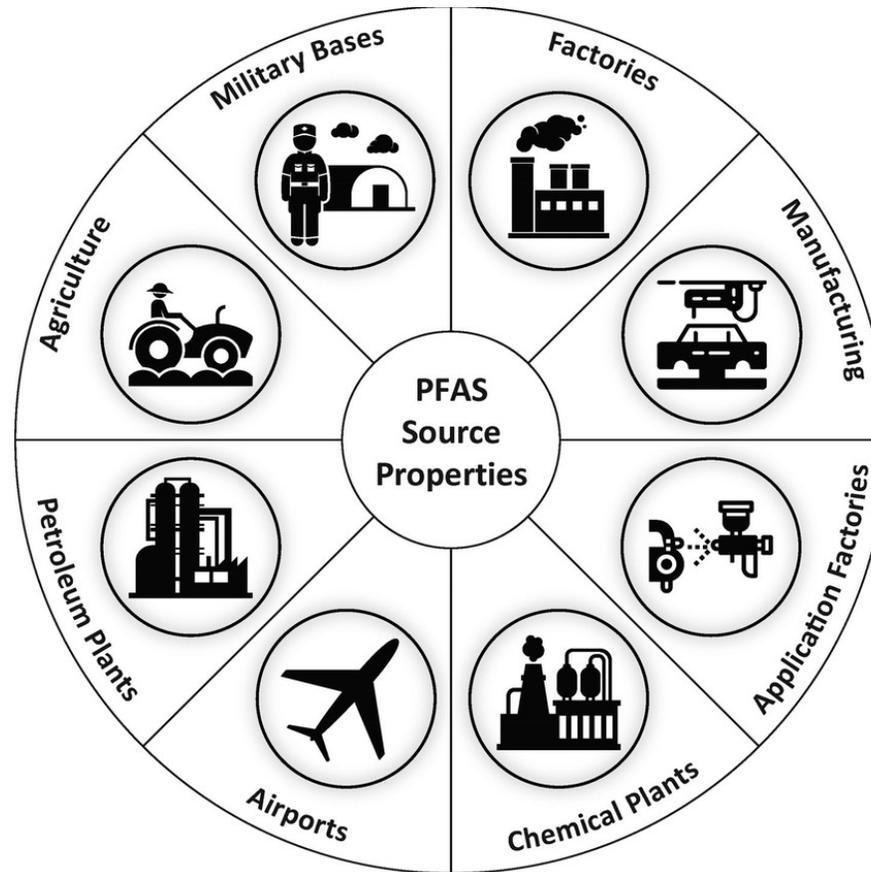
- Toxizitätsdaten zur Ableitung von Grenzwerten (HBGV)
- Expositionsdaten zur Risikoabschätzung
- das Verständnis für die klinische Relevanz der Befunde
- Relevante epidemiologische Studien



PFAS – Sanierung aufwendig und teuer

Hotspots: PFAS-haltiges Abwasser, Abluft, Schlämme - Sanierung aufwendig und teuer

- Industrie Produktion & Nutzung
Papier- & Textilindustrie, Galvanik, ...
- Flughäfen und Militärgelände
Löschschaum
- Deponien & Recyclingplätze
Abfälle
- Klärschlammasbringungsfläche
Landwirtschaft



https://www.researchgate.net/figure/PFAS-source-properties_fig3_351503207

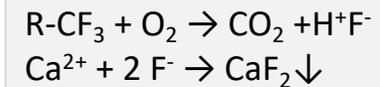
Sanierung von Wasser

Adsorption an Aktivkohle (4. Stufe ARA)
Ionenaustauscherharze
Membranverfahren

Sanierung von Böden

Aushub und Entsorgung
Eindämmung (Containment)
Verbrennen: > 1000 °C oder auswaschen
→ Boden unfruchtbar

Mineralisierung (Entgiftung)



Fazit allgemein

Ein Generationenprojekt → Jetzt handeln, die Situation kann nicht besser werden

- Wesentliche Verwendungen «Essential uses» definieren
- Problematische Ersatzstoffe «Regrettable substitutes» vermeiden
- Entwicklung von Alternativen forcieren
- Hotspots identifizieren und sanieren

