



# AAK-Veranstaltung

Montag, 04.05.2026, 11 Uhr bis 11:45 Uhr

35745 Herborn, Schulhofstraße 3-5, Aula der Hohen Schule

## Umweltbelastung durch Klimawandel, Feinstaub und Mikroplastik

**Hans Schweisfurth**

Pulmologisches Forschungsinstitut (IPR)

[www.pulmologisches-forschungsinstitut.de](http://www.pulmologisches-forschungsinstitut.de)



# Mystik und Naturwissenschaft

## Hildegard von Bingen (1098 -1179)

Alles gehört zusammen

Jede Kreatur ist auf geheimnisvolle  
Weise mit allen anderen verbunden

*Rupertsberger Riesencodex*

*Von Ilona Buchecker - Landesbibliothek*

*Wiesbaden, CC BY-SA 3.0,*

*<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15356745>*



## Alexander von Humboldt (1769-1859)

Alles gehört zusammen

Klimawandel, Globalisierung,  
Menschenrechte

*Alexander von Humboldt*

*(Gemälde von J. K. Stieler 1843)*



# Klimawandel

# Pasterze (Großglockner) 1905



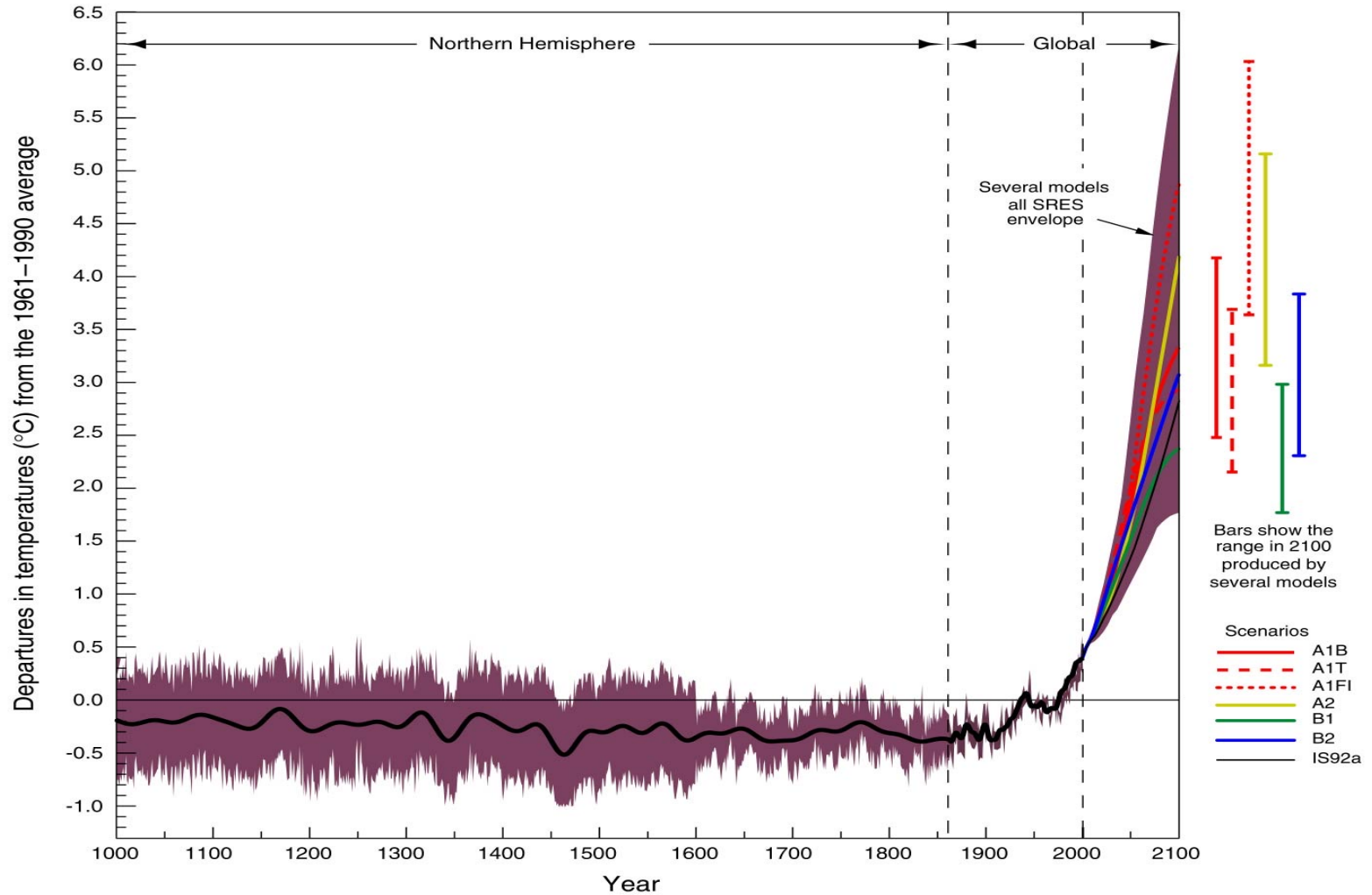
# Pasterze (Großglockner) 1993



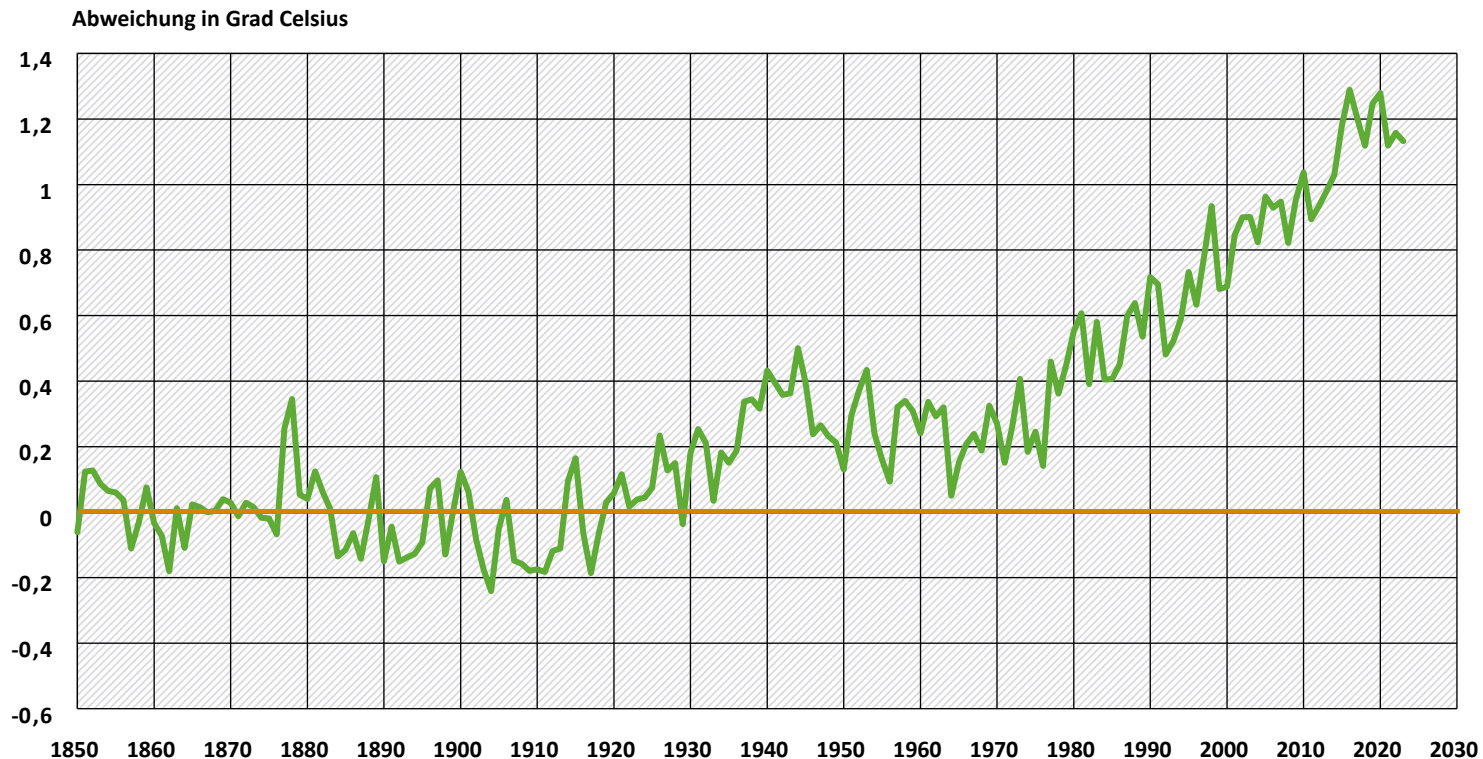
# Temperaturanstieg bis 2100

Variations of the Earth's surface temperature: 1000 to 2100.

1000 to 1861, N.Hemisphere, proxy data; 1861 to 2000 Global, instrumental;  
2000 to 2100, SRES projections



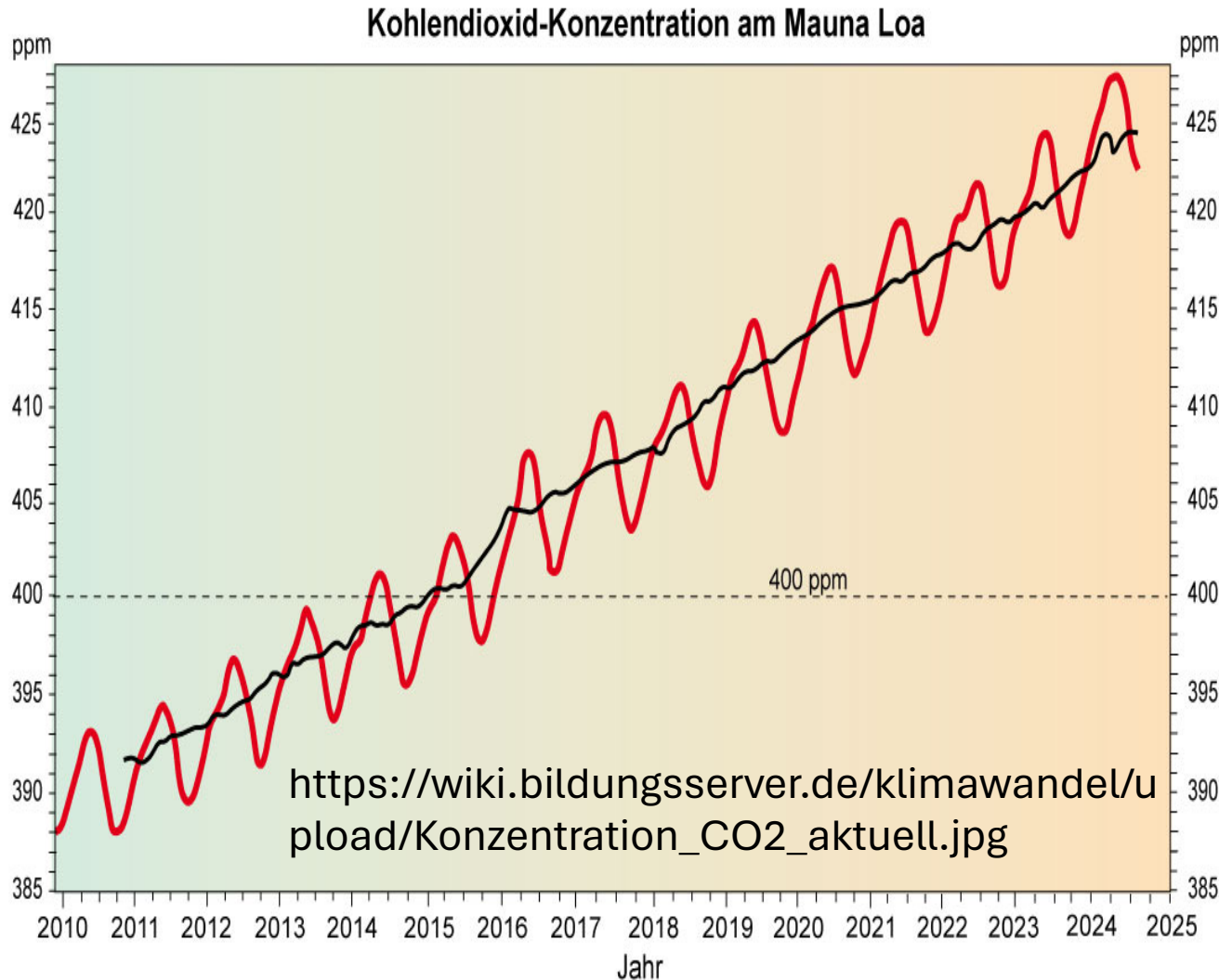
# Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1900\*



\* Die Nulllinie entspricht dem globalen Temperaturdurchschnitt der Jahre 1850 bis 1900.

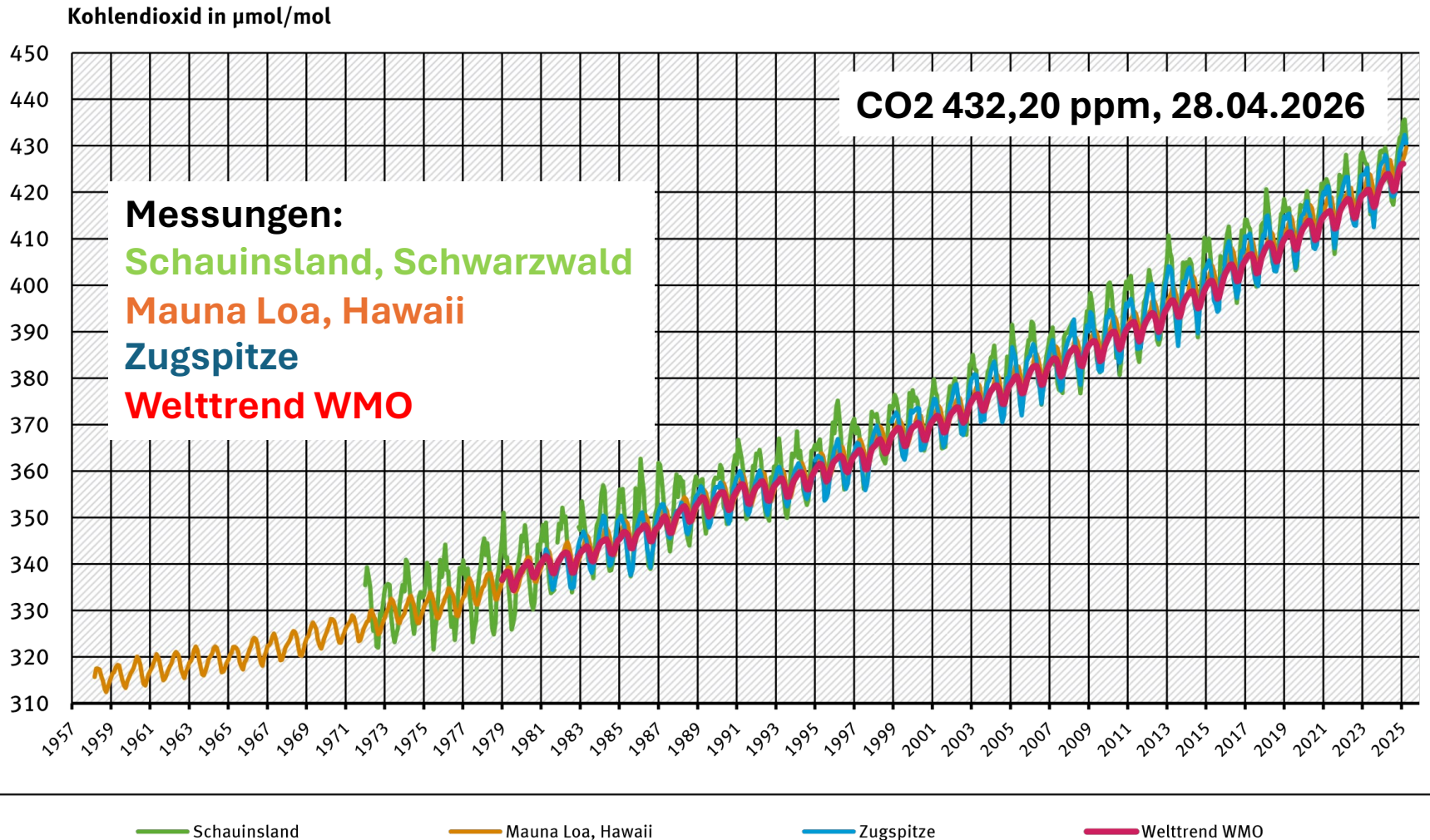
Quelle: Met Office Hadley Centre, Climate Research Unit; Modell HadCRUT.5.0.1.0; Median der 200 berechneten Zeitreihen (Aufruf 03/2023)

# Keeling-Kurve mit Messung in 3397 m Höhe von atmosphärischem CO<sub>2</sub> seit 1958 auf dem Vulkan Mauna Loa, Hawaii, USA



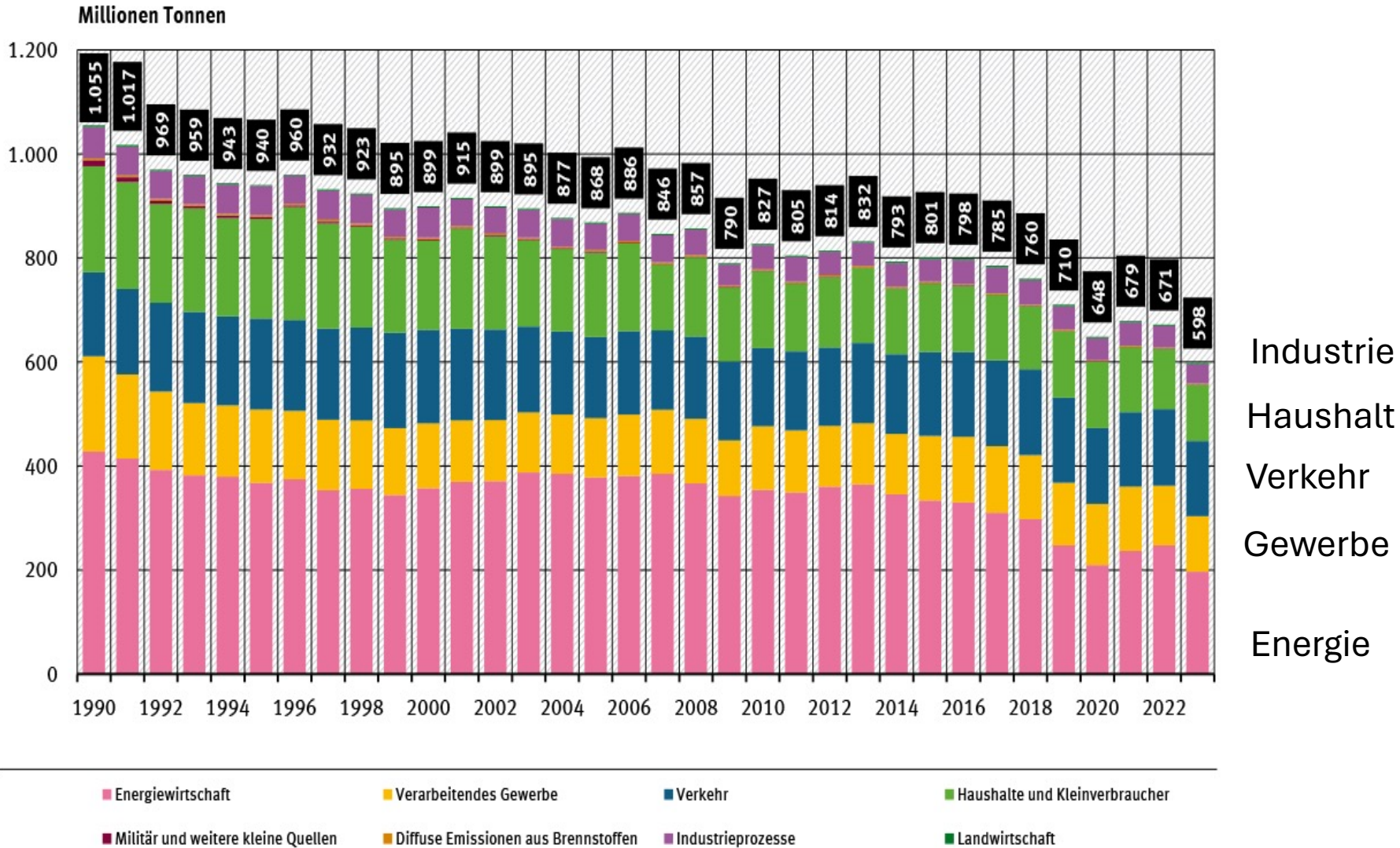
C. D. Keeling 1928-2005  
Scripps Institute of  
Oceanography, La Jolla  
California, USA

# Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittelwerte)



Quelle: Umweltbundesamt (Schauinsland, Zugspitze), NOAA Global Monitoring Division and Scripps Institution of Oceanography (Mauna Loa, Hawaii, Welttrend)

# Emissionen von Kohlendioxid nach Kategorien in Deutschland 1990-2023 (UBA, 15.03.2024)

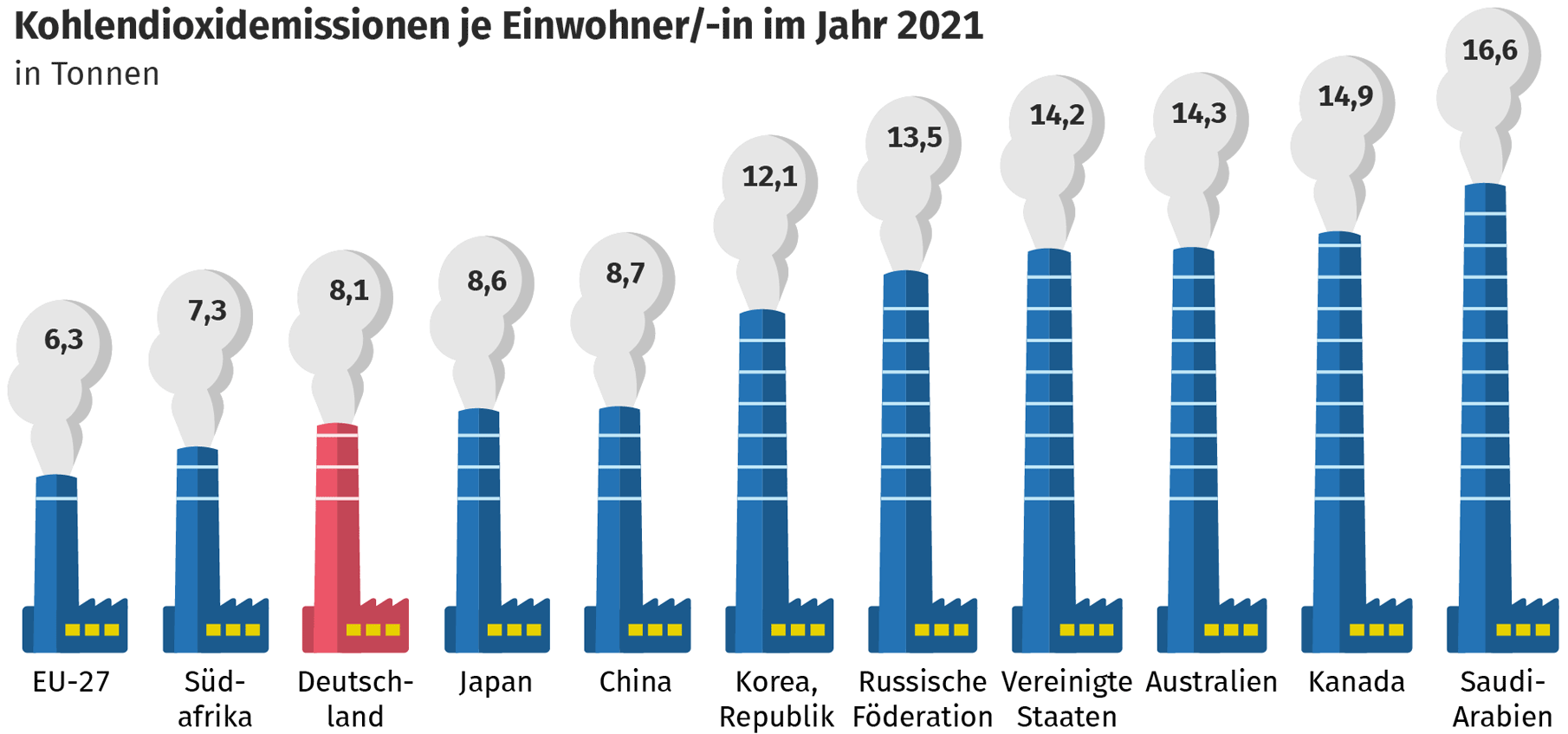


Kohlendioxid-Emissionen: ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft  
 Verkehr: ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr  
 Haushalte und Kleinverbraucher: mit Militär und weiteren kleinen Quellen (u.a. land- und forstwirtschaftlichem Verkehr)

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2022 (Stand 03/2024), für 2023 vorläufige Daten (Stand 15.03.2024)

# Kohlendioxidemissionen je Einwohner/-in im Jahr 2021

in Tonnen



Quelle: EDGAR/JRC

©  Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022

# Klimawandel

## **1. Direkte gesundheitliche Auswirkungen durch:**

Vermehrte Hitzewellen

- Trockenheit, Dürre, Waldbrände

Extreme Wetterereignisse

- Häufige Stürme, Überschwemmungen
- Sandstürme

Erhöhte UV-Strahlung

## **2. Indirekte gesundheitliche Auswirkungen durch:**

Veränderung der Allergenexposition

- Verlängerte Pollenflugsaison
- Verändertes Allergenspektrum

Zunahme der Luftschadstoffe

- Ozon, Stickstoffoxide
- Feinstaub (PM<sub>2,5-10</sub>, PM<sub>10</sub>)

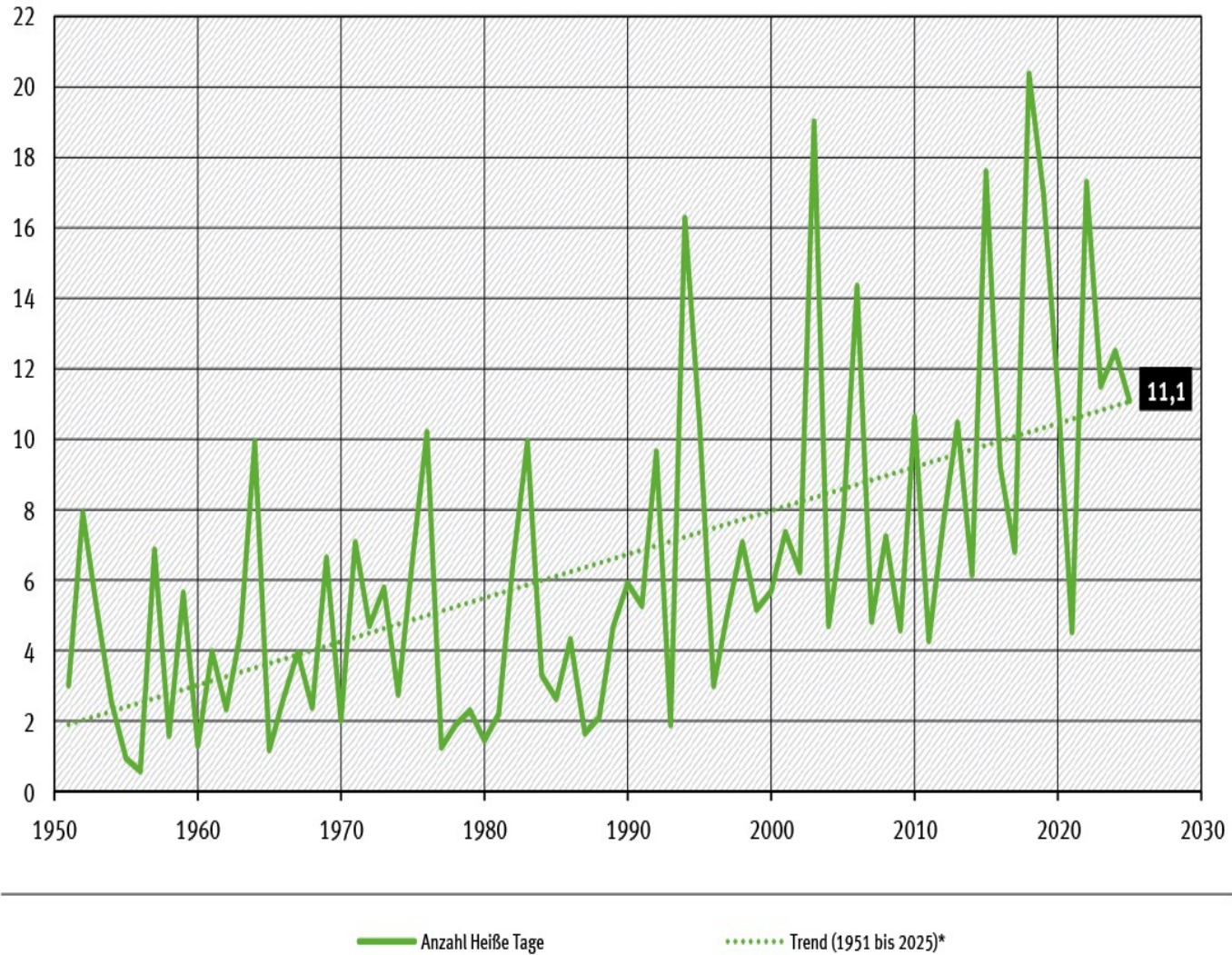
Erhöhte Infektionsrisiken durch Ausbreitung von Vektoren und Reservoirorganismen

Probleme der Trinkwasser- und Lebensmittelhygiene

Anstieg des Meeresspiegels

Migrationen

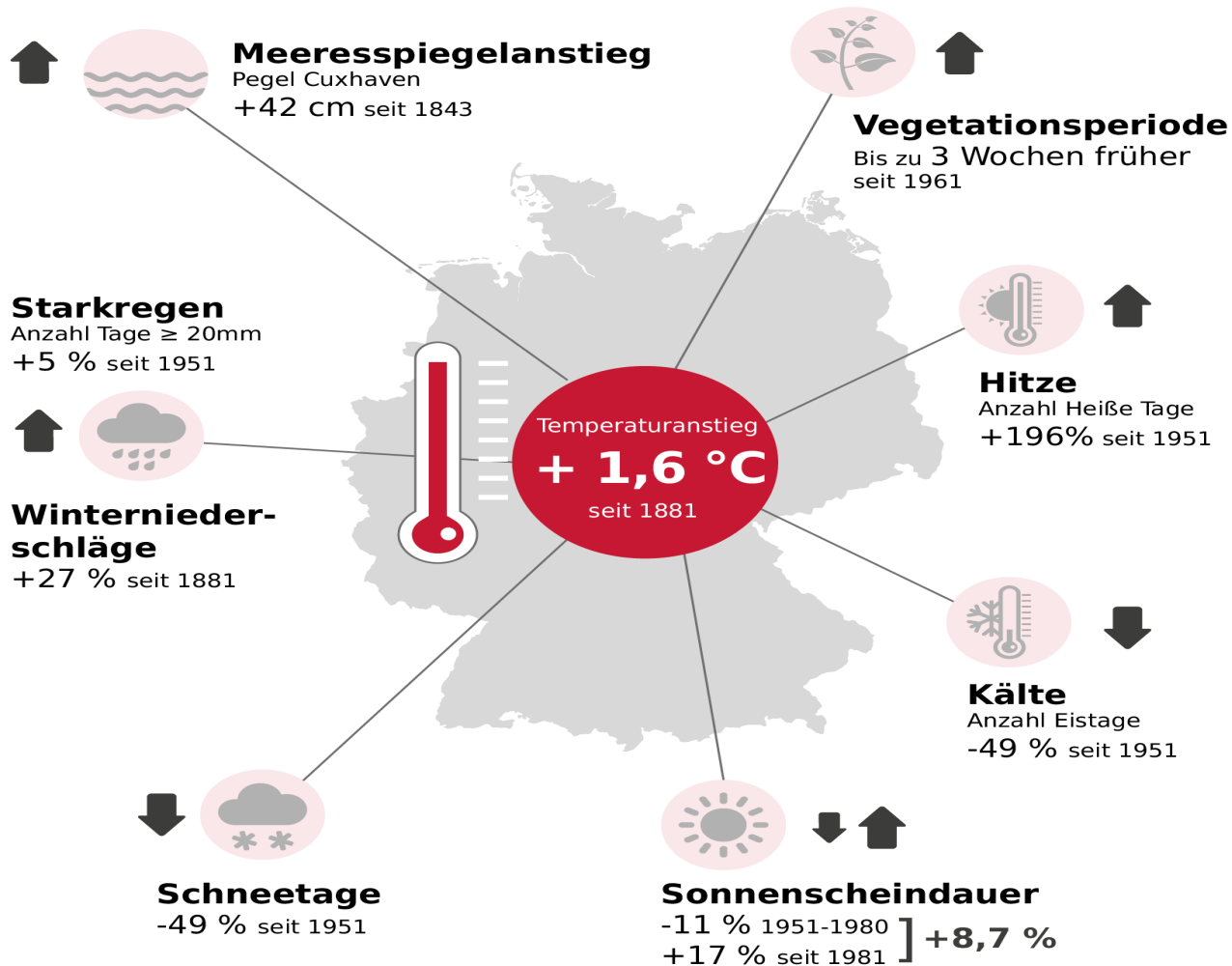
## Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)



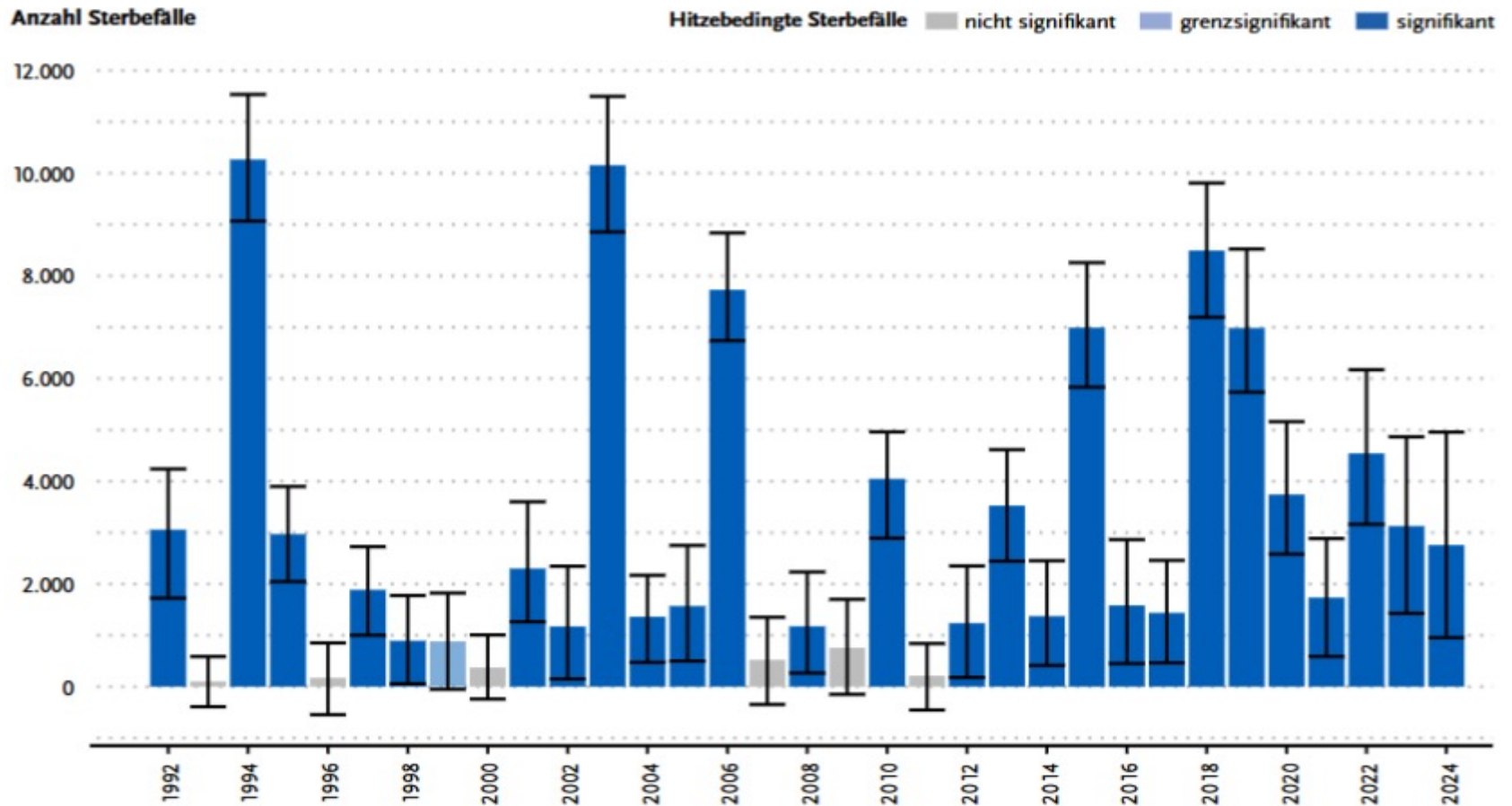
\* lineare Regressionsgerade über alle dargestellten Indikator-Werte, Werte für 2025 vorläufig

Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), Mitteilung vom 14.11.2025

# Deutschland im Klimawandel

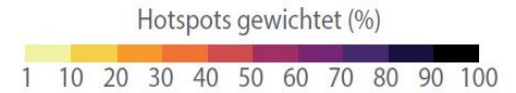


# Hitzebedingte Sterbefälle in Deutschland 1992 bis 2024



**Abb. 4 |** Geschätzte Anzahl hitzebedingter Sterbefälle im Zeitraum 1992 bis 2024 in Deutschland. Es kam in den meisten Jahren zu einer signifikanten Anzahl hitzebedingter Sterbefälle (Untergrenze des 95%-Prädiktionsintervalls ist größer Null). Besonders stark betroffen waren die Sommer 1994, 2003, 2006, 2015, 2018 und 2019.

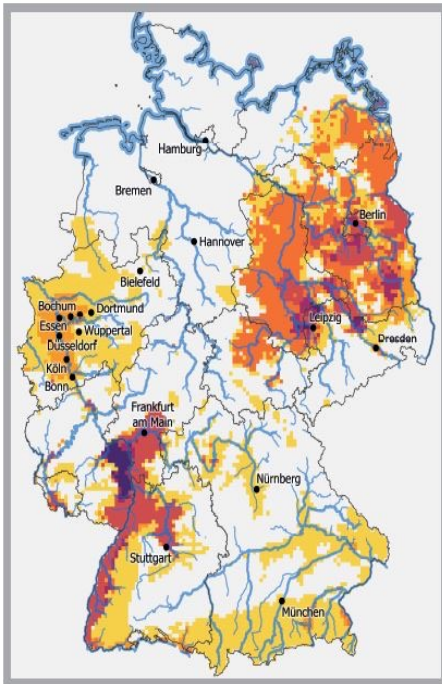
# Klimatische Hotspots



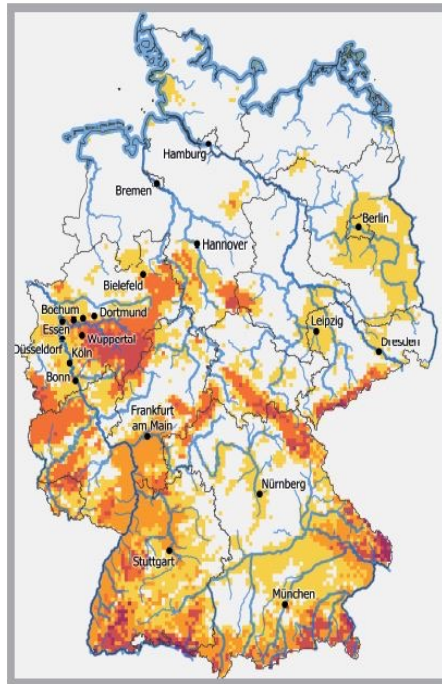
- Städte über 300.000 Einwohner
- Regionen mit hydrologischen und küstenspezifischen Risiken

## Mitte des Jahrhunderts

2031 - 2060 Absolut

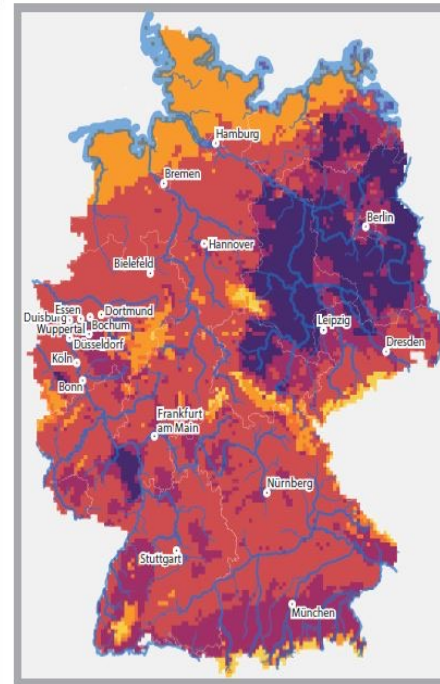


2031 - 2060 Änderung

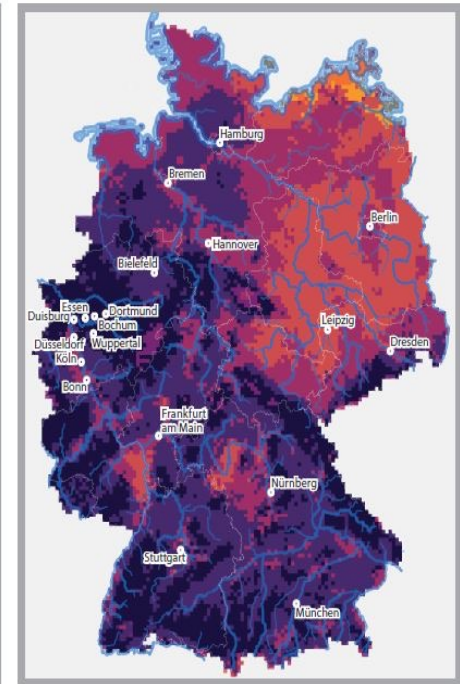


## Ende des Jahrhunderts

2071 - 2100 Absolut



2071 - 2100 Änderung



<https://www.uba.de/n88230de>

# Klimaabhängige Infektionskrankheiten

Krankheit	Vektor	Vorkommen	Klimaabhängigkeit
<b>I. Vektorgebundene Krankheiten durch blutsaugende Arthropoden</b>			
Malaria	Stechmücke	Tropen, Subtropen	Sehr hoch
Denguefieber	Stechmücke	Tropen, Subtropen	Hoch
Japan-B-Enzephalitis	Stechmücke	Südostasien	Signifikant
St-Louis-Enzephalitis	Stechmücke	Nord- und Südamerika	Signifikant
Ross-River-Virus	Stechmücke	Australien und pazifische Inseln	Signifikant
Leishmaniose	Sandmücke	Afrika, Zentralasien, Mittelmeer, Südamerika	Moderat
Gelbfieber	Stechmücke	Südamerika, Afrika	Moderat
West-Nil-Fieber	Stechmücke	Afrika, Asien, USA, Israel, Südosteuropa	Moderat
Lyme Erkrankung	Schildzecke	Europa, Nordamerika, Asien	Sehr schwach
<b>II. Direkt übertragene Zoonosen</b>			
Hantaviren	Nagetier	Nord- und Südamerika	
Q-Fieber	Schafe, Zecke	Weltweit	
Pest	Nagetier, Floh	Tropische Zonen	
<b>III. Lebensmittelübertragene und an Wasser gebundene Infektionen</b>			
Cholera	Afrika, Asien, Südamerika, Russland		Sehr hoch
Schistosomiasis	Afrika, Asien		Sehr schwach
Gardiasis	Weltweit		
Kryptosporidiose	Weltweit		

# **European State of the Climate 2025: record heatwaves from the Mediterranean to the Arctic, while glaciers shrink and snow cover declines (WMO 29, April 2026)**

- 1. Mindestens 95 % Europas hatten im Jahr 2025 überdurchschnittliche Jahrestemperaturen.**
- 2. Eine rekordverdächtige dreiwöchige Hitzewelle betraf das subarktische Fennoskandien, mit Temperaturen nahe und innerhalb des Polarkreises von über 30 °C.**
- 3. Gletscher in allen europäischen Regionen verzeichneten einen Verlust, wobei Island den zweitgrößten Gletscherverlust in der Geschichte verzeichnete; die Schneebedeckung lag 31 % unter dem Durchschnitt; der grönländische Eisschild verlor 139 Gigatonnen (139 Milliarden Tonnen) Eis.**
- 4. Die jährliche Meeresoberflächentemperatur der europäischen Region war die höchste je aufgezeichnet, und 86 % der Region erlebten mindestens starke marine Hitzewellen.**
- 5. Waldbrände verbrannten etwa 1.034.550 Hektar, die größte jemals dokumentierte Fläche.**

The World Meteorological Organization (WMO) is the United Nations System's authoritative voice on Weather, Climate and Water.

# Hitze und Luftverschmutzung

- Hohe Ozonkonzentrationen
- Hohe Feinstaubkonzentrationen
- Hohe Stickstoffoxidkonzentrationen
- Hohe Pollenkonzentrationen

Akute Auswirkungen bei Kindern und chronisch Kranken:

Asthma, Allergien, Bronchitis, COPD, Pneumonien, Herz-Kreislauf (Herzinfarkt, Schlaganfall)

# Klimawandel und Pollen

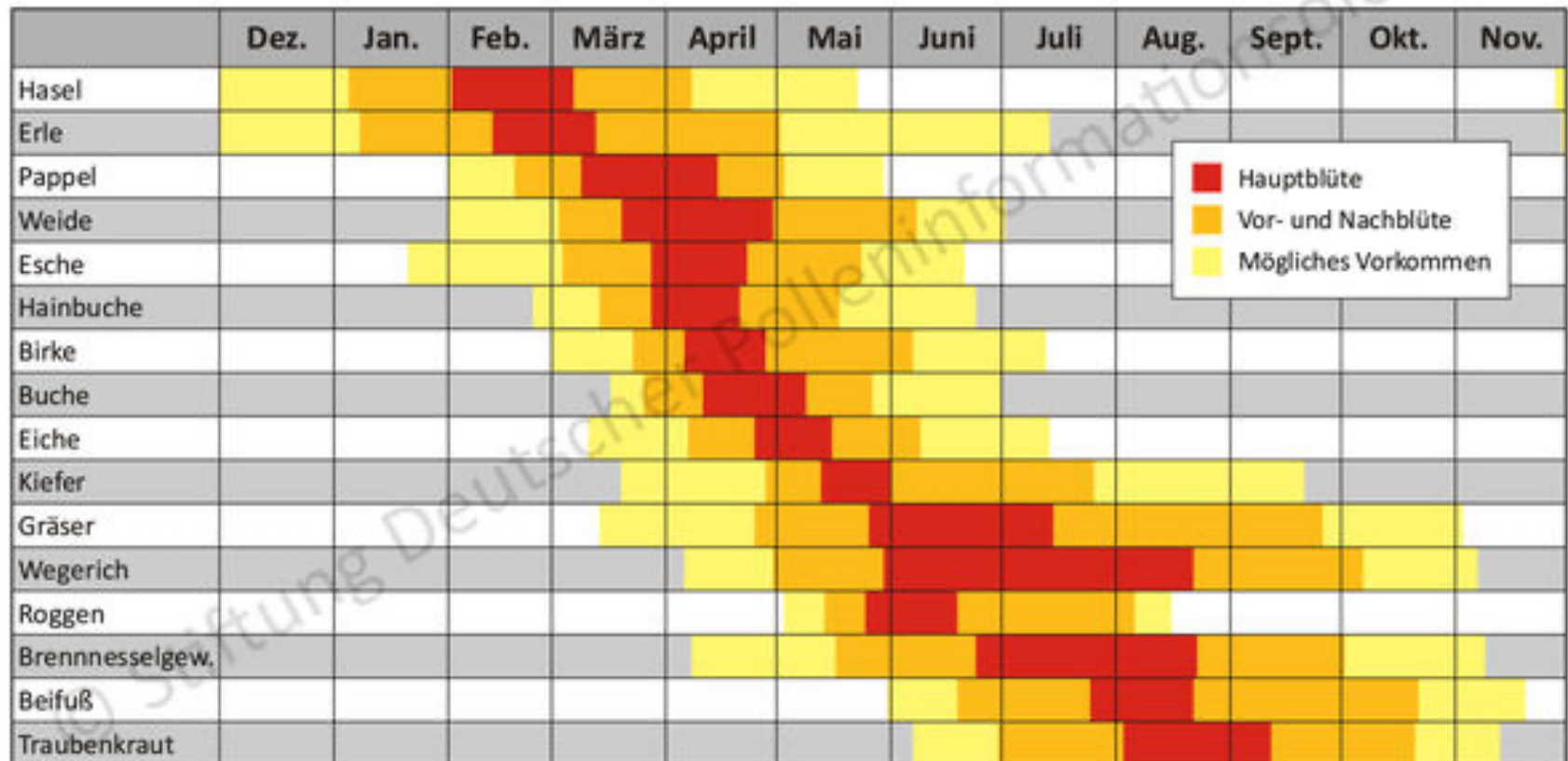
- Frühzeitiger Pollenflug
- Mehr Pollen durch CO<sub>2</sub>-Anstieg
- Erhöhte Wirksamkeit der Pollen durch Schadstoffbelastung
- Ansiedlung von Neophyten (Ambrosia)
- Vermehrte allergische Erkrankungen (Asthma, Rhinitis, Konjunktivitis)

# Gesamtdeutscher Pollenflugkalender

(nach Pollenflugdaten von 2016 bis 2021)



© Stiftung Deutscher  
Polleninformationsdienst  
www.pollenstiftung.de



**Ambrosia artemisiifolia = beifußblättriges Traubenkraut**

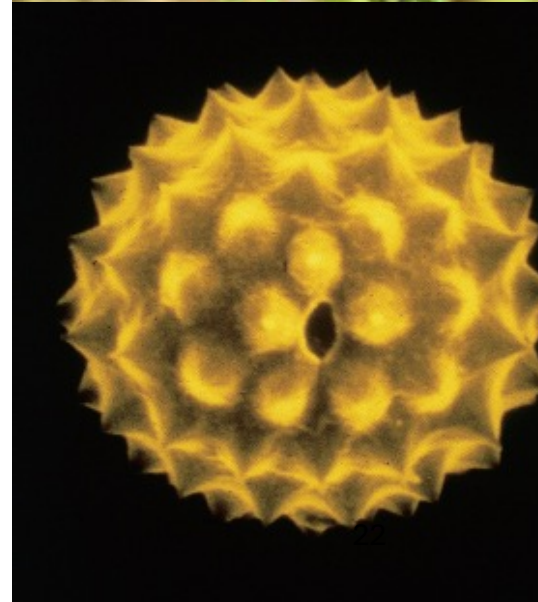
Allergologie 2023, 46: 619

# Ambrosia artemisiifolia

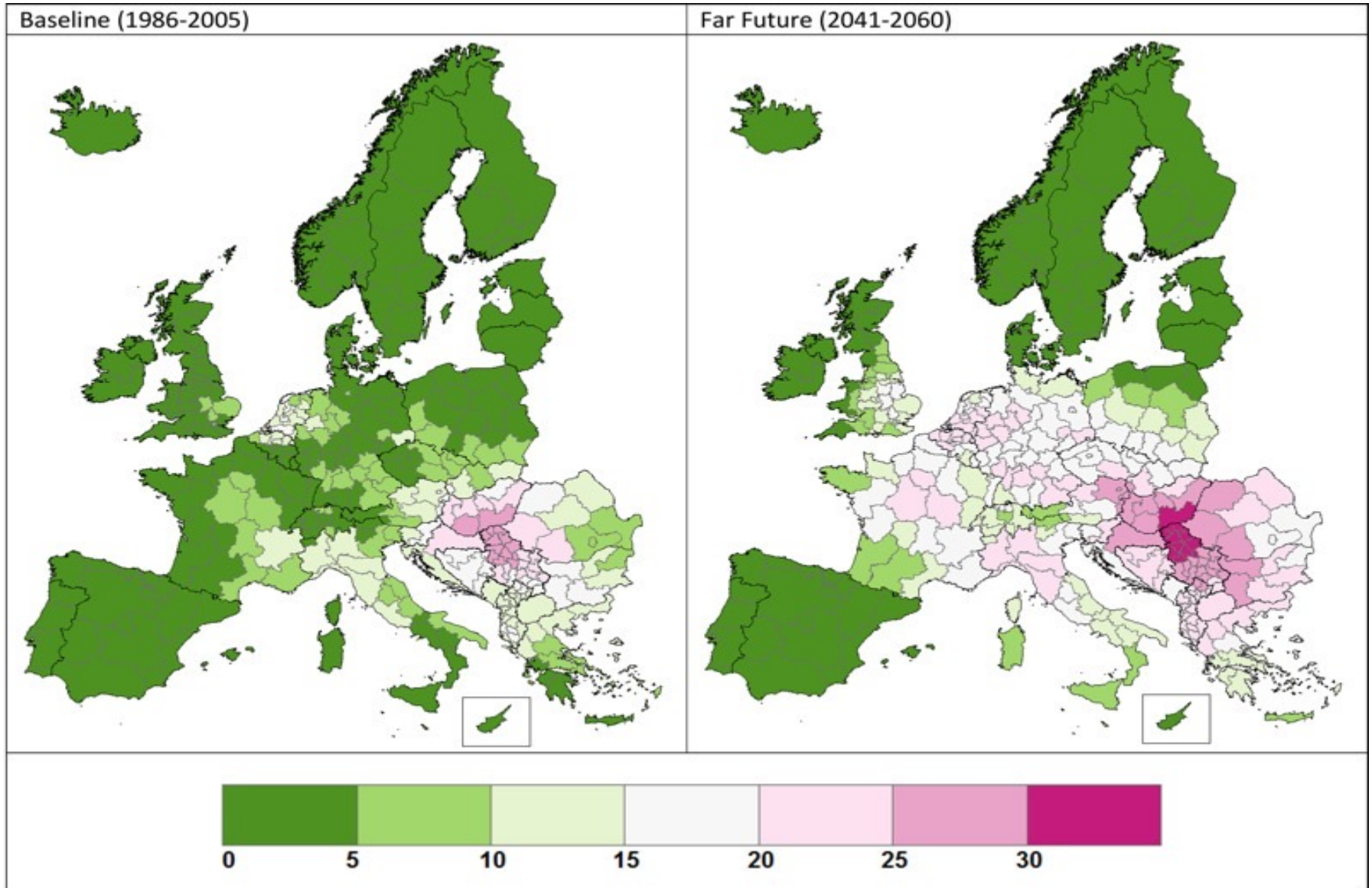
## (Beifußblättriges Traubenkraut)

- Die Pollen von Ambrosia gehören zu den stärksten Allergie-Auslösern
- Bereits ab 6 Pollen/m<sup>3</sup> Luft reagieren empfindliche Personen allergisch, ab 11 Pollen/m<sup>3</sup> wird von einer starken Belastung gesprochen
- Die Allergie kann allergische Reaktionen der Augen und der Atemwege auslösen und zu Asthma führen
- Der späte Blütezeitpunkt der Ambrosia von Juli bis Oktober bedeutet eine zusätzliche Belastung der Pollenallergiker durch eine Verlängerung der Pollensaison
- In Experimenten wurde nachgewiesen, dass die Ambrosie mit Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration mehr Pollen freisetzt

*Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Ambrosia-Polle. Foto: Alk-Scherax*



# Ambrosia-sensibilisierte Bevölkerung in Prozent

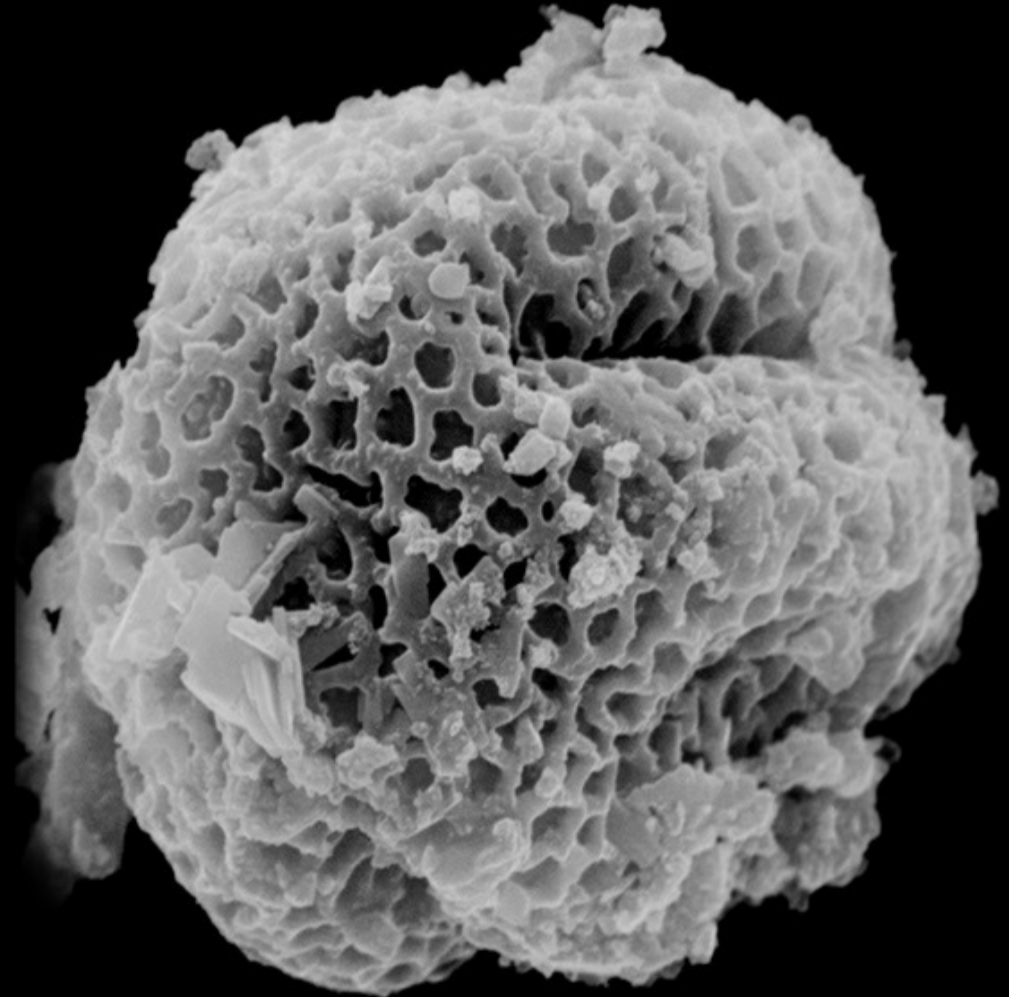


WRF/RegCM and CHIMERE, RCP4.5, © EuroGeographics

## Feinstaub und Allergien

***Allergene aus der Luft binden an Feinstaubpartikel; es entstehen Allergen-Aerosole, die ein zusätzliches allergenes Potenzial darstellen.***

*Foto: Prof. Heidrun Behrendt/Helmholtz Zentrum München, Klinische Kooperationsgruppe Umweltdermatologie und Allergologie*



# Feinstaub

# Schwebstaub

Sammelbezeichnung für alle festen Teilchen in der Luft, z. B.

## Ruß

im Wesentlichen aus Kohlenstoff bestehende Teilchen, entstanden d. unvollständ. Verbrennungsprozesse

## Staub

feinst verteilte feste Teilchen in der Luft, entstanden durch mechanische Prozesse oder Aufwirbelung

## Rauch

feinst verteilte feste Teilchen in der Luft, entstanden durch chemische oder thermische Prozesse

### Unterteilung nach Partikelgröße

#### (Inhalierbarer) Feinstaub

PM<sub>10</sub>,  $\varnothing < 10\mu\text{m}$

#### Lungengängiger Feinstaub

PM<sub>2,5</sub>,  $\varnothing < 2,5\mu\text{m}$

#### Ultrafeine Partikel

UP,  $\varnothing < 0,1\mu\text{m}$

#### Grobstaub

(Sedimentationsstaub)  
 $\varnothing > 10\mu\text{m}$

#### PM:

Sulfate, Nitrate, Ammoniak, Kochsalz, Kohlenstoff, Mineralstaub, organ. Bestandteile

PM: Particulate Matter  
UP: Ultrafine Particles

### Unterteilung nach Staubart, z. B.

#### Hausstaub

- Gesteinskörnchen
- Hautschuppen
- Lebensmittelreste
- Abriebmaterial
- Pilzsporen, Bakterien

"Wollmäuse"

Schwarze Wohnungen

#### Faserstaub

- anorganische Fasern (z. B. Asbest, Glaswolle)
- organische Fasern (z. B. Baumwollstaub)

#### Gesteinsstaub

- Silikate (Sand)
- Löss

#### Blütenstaub

Pollen

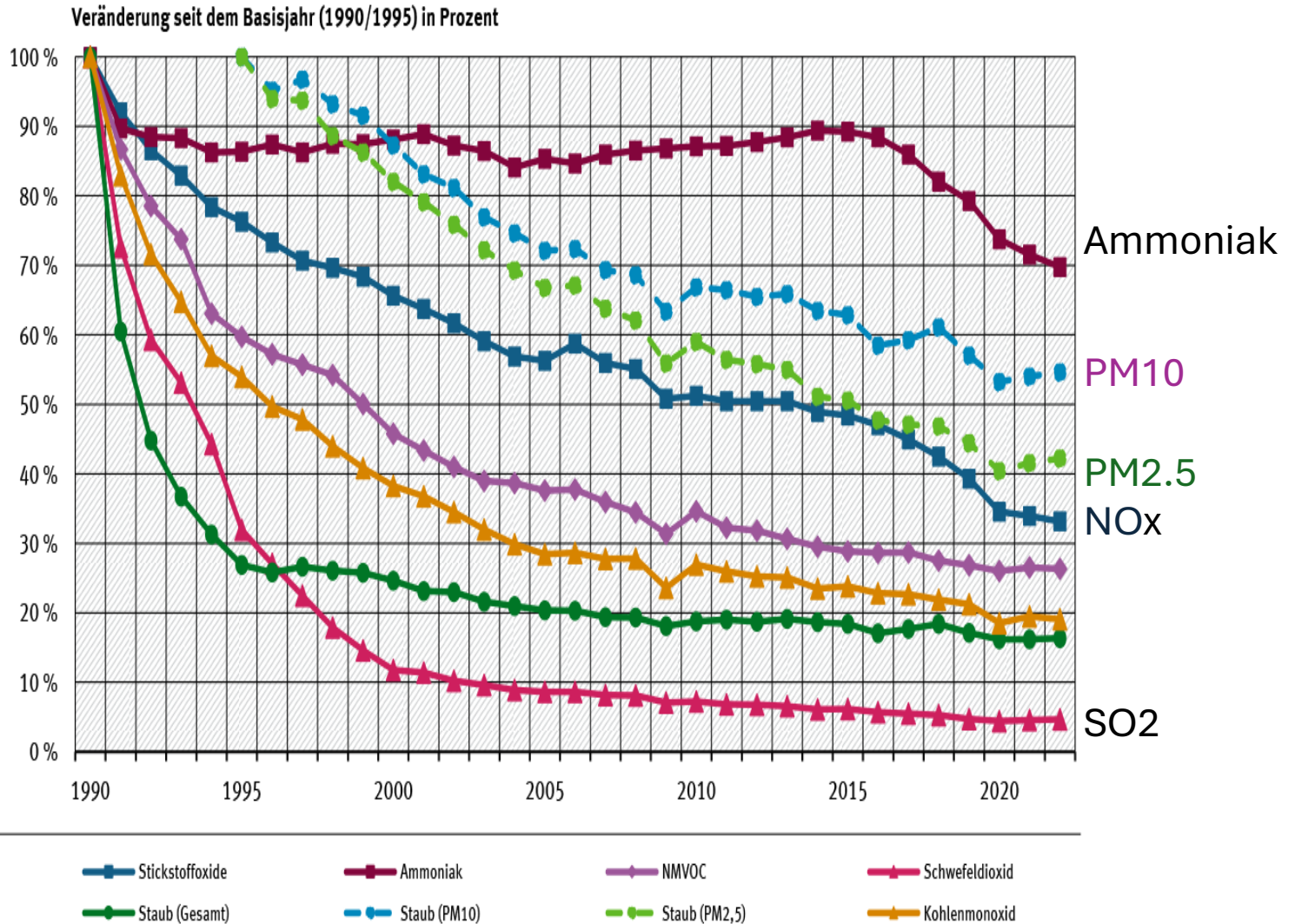
Particulate Matter PM

GNU Free Documentation License, Version 1.2

Nanopartikel 1-100 nm

Pulmologisches Forschungsinstitut (IPR)

# Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe in Deutschland von 1990 bis 2022 (Stand UBA 03/2024)



# Zusammensetzung deutscher PM<sub>2,5</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen im Jahr 2021 nach UBA-Berichterstattung 2023

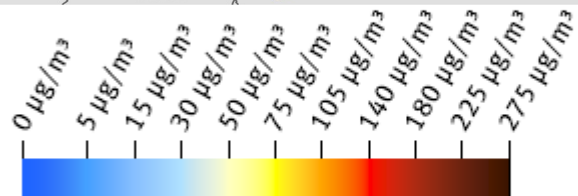
	<b>PM 2.5 (%)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (%)</b>
<b>Energieerzeugung</b>	19!	44!
<b>Holzfeuerung</b>	19!	2
<b>Industrieprozesse</b>	14	6
<b>Landwirtschaft</b>	6	11
<b>Schüttgutumschlag</b>	11	-
<b>Straßenverkehr</b>	19!	33!
<b>Weiterer Verkehr</b>	6	4
<b>Gesamtmenge</b>	<b>83 000 t</b>	<b>967 000 t</b>

<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/luftqualitaetsgrenzwerte-in-deutschland-2022-erneut>



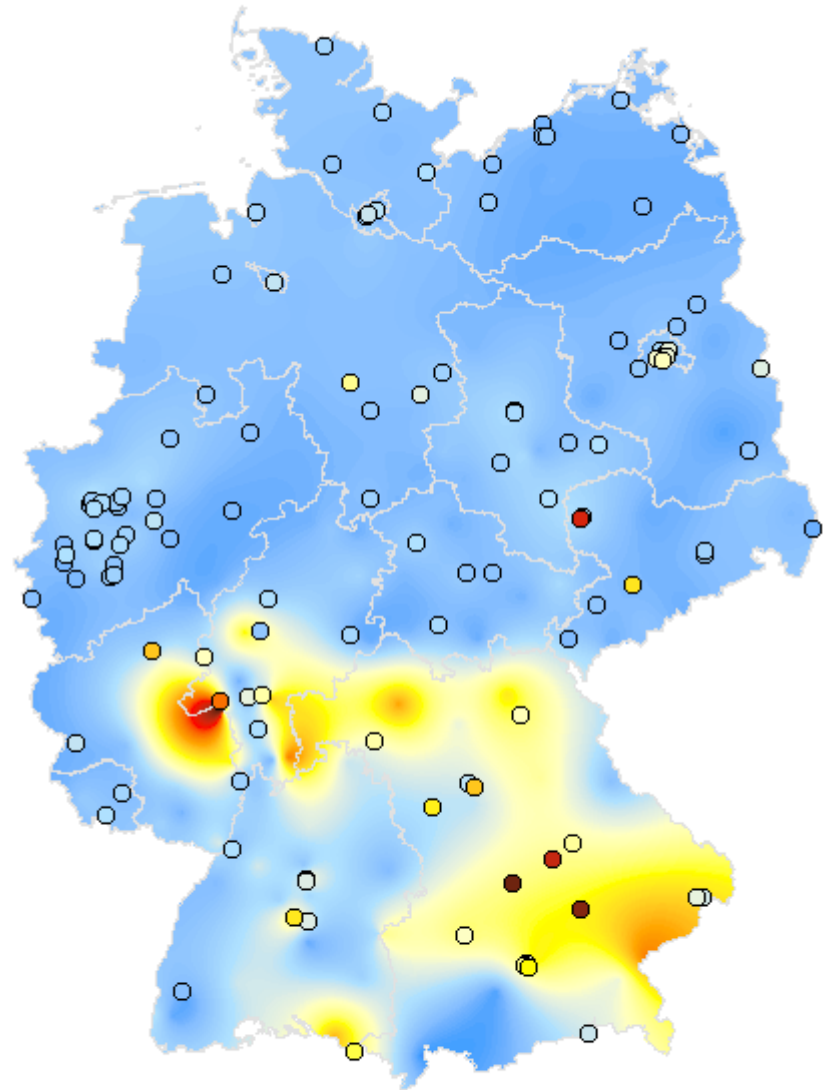
# Tagesmittel der Feinstaubkonzentration (PM10)

## 01. Januar 2023

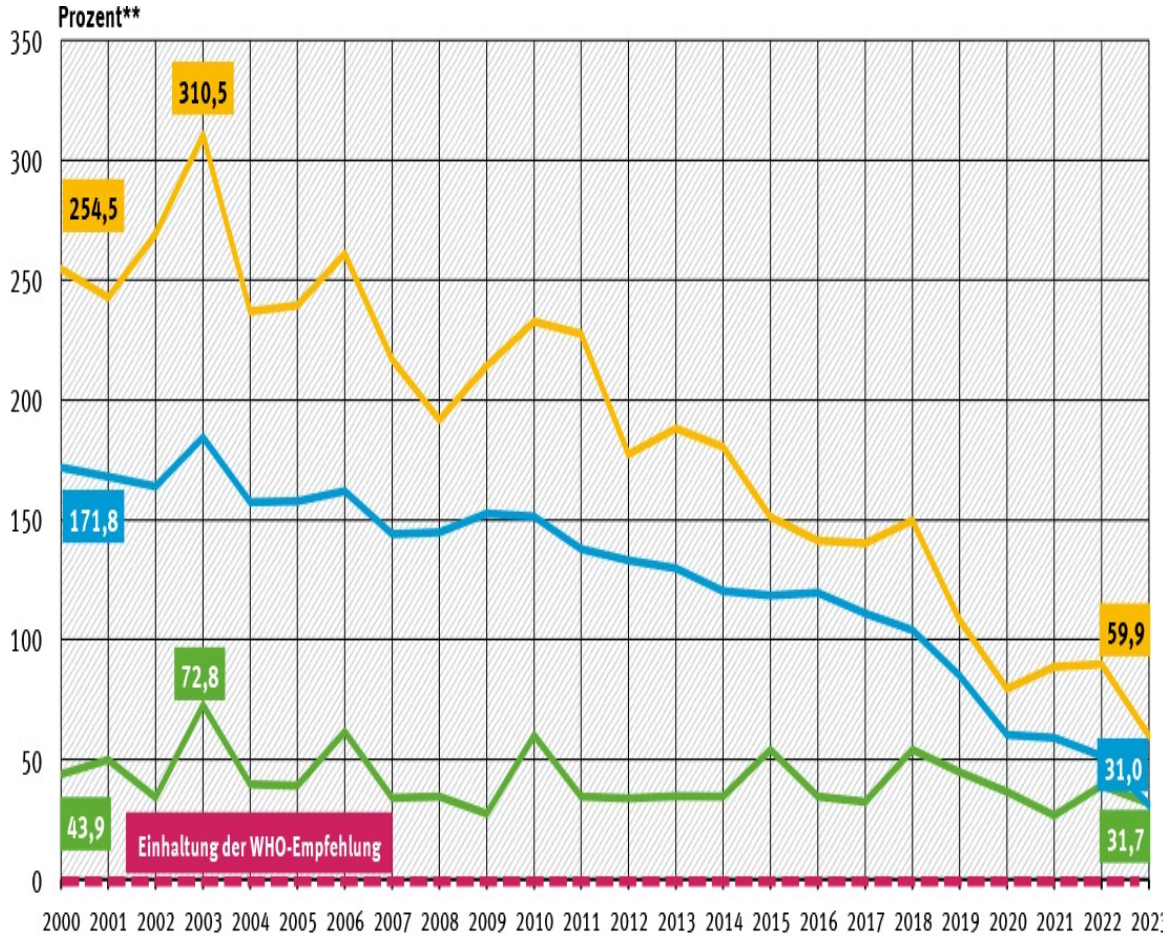


Angaben in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft

Erstellt vom Umweltbundesamt mit Daten der Messnetze der Länder und des Bundes.  
Auf Grund der weiträumigen Betrachtung ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig.  
© Umweltbundesamt und Bundesländer



# Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zur WHO-Empfehlung im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume von 2000 bis 2023 (UBA 2024)



## WHO Empfehlung 2021

PM 2,5 (5 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel)

NO<sub>2</sub> (10 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel)

O<sub>3</sub> (100 µg/m<sup>3</sup> max 8h-Wert)

— Ozon (O<sub>3</sub>)      — Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>)      — Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

\* WHO-Empfehlungen 2021 O<sub>3</sub>: 100 µg/m<sup>3</sup> als 99. Perzentil der tägl. max. 8h-Werte; PM<sub>2,5</sub>: 5 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel; NO<sub>2</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel

Quelle: Umweltbundesamt 2024

# Feinstaub und Lungenwachstum bei Kindern

Kinder im Alter von 5-11 Jahren:

- Bei einem Anstieg von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 war die Zunahme von FEV1 im Lungenfunktionstest um 23 ml geringer
- Bei einem Anstieg von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NO2 war die Zunahme von FEV1 um 14 ml geringer

**Folgerung:** Unter Feinstaub/NO2 geringeres Lungenwachstum bei Kindern

(Mölter et al. Environ Health Perspect 121, 1232-1238, 2013)

# Besonderheiten der Atemphysiologie im Kindesalter

	Neugeborenes	6 Jahre	Erwachsene
<b>Atemfrequenz/min</b>	<b>40</b>	<b>24</b>	<b>14</b>
<b>O<sub>2</sub>-Verbrauch (ml/kg/min)</b>	<b>6,0</b>	<b>4,6</b>	<b>3,5</b>
<b>Lungen-Oberfläche (m<sup>2</sup>)</b>	<b>2,8</b>	<b>30</b>	<b>80</b>
<b>Bronchiale Reaktionsschwelle (Histamin mg/ml)</b>	<b>ca. 1</b>	<b>ca. 2-4</b>	<b>ca. 4-8</b>

Steiß, Allergologie 2026, 49: 105-114

# Feinstaub und Asthma

- Air pollution (Ozon, Feinstaub [PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>], SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) verschlimmert Asthma
- Pollen, Air pollution und Klima beeinflussen die Entstehung von Allergien

(Shea et al. J Allergy Clin Immunol 122, 443-453, 2008)

# Feinstaub und Lungenkarzinom

Feinstaub und Lungenkarzinom Inzidenz in 17 europäischen Kohorten

- 312 944 Teilnehmer
- Lungenkarzinomrisiko (HR):
  - 1,22 (**22%**) pro 10  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$
  - 1,18 (**18%**) pro 5  $\mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$
- davon Adenokarzinomrisiko (HR):
  - 1,51 (**51%**) pro 10  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$
  - 1,55 (**55%**) pro 5  $\mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$

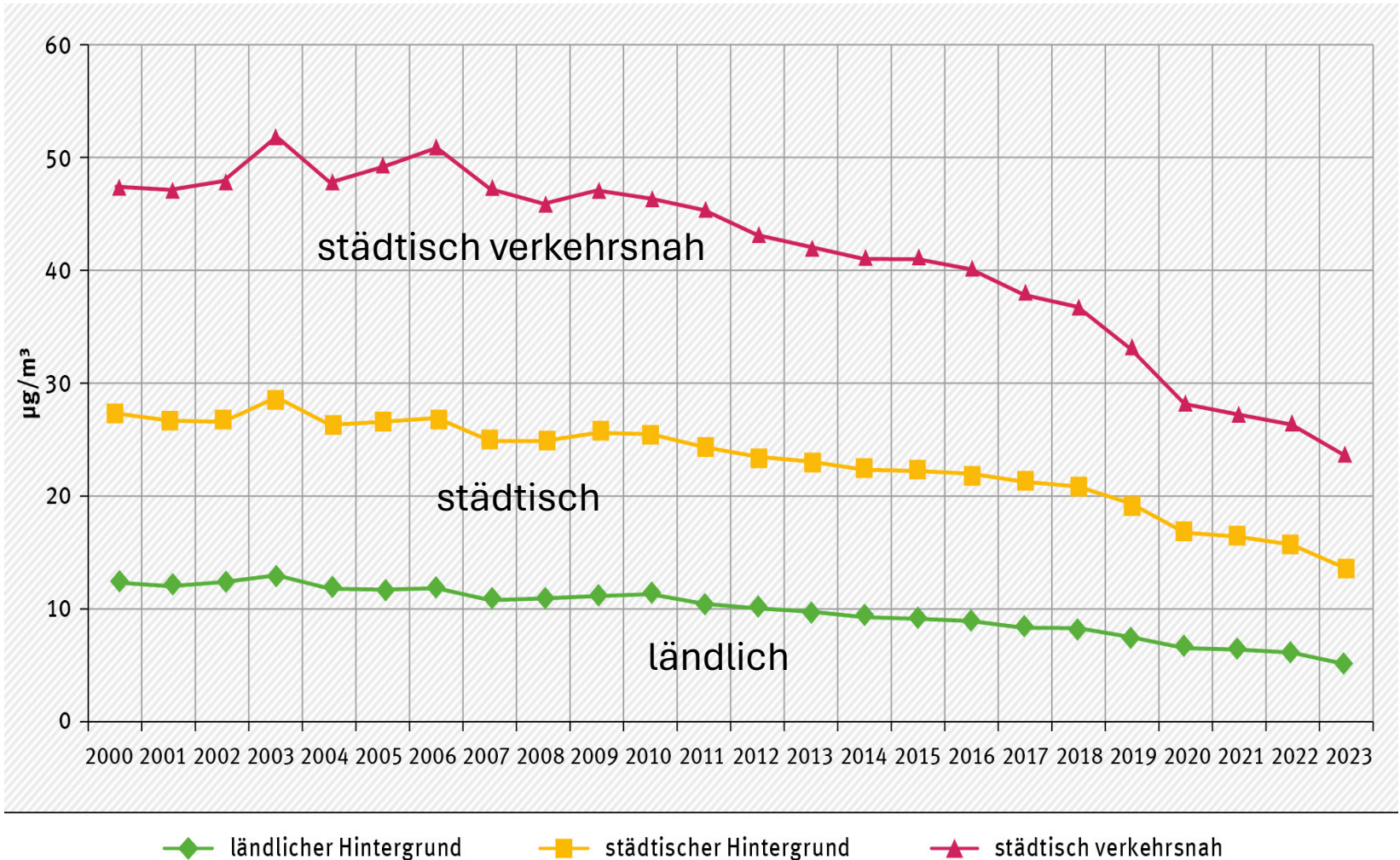
(Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the **European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)**.

Lancet Oncol. 2013 Aug;14(9):813-22. doi: 10.1016/S1470-2045(13)70279-1. Epub 2013 Jul 10)

# Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

- NO<sub>2</sub> ist ein Reizgas und entsteht bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Gas, Kohle, Öl) und ist daher unter anderem Bestandteil des Abgases von Kraftfahrzeugen, von Öl- und Gas-Heizkesseln sowie von Gas- und Kohlekraftwerken
- NO<sub>2</sub> ist die Hauptquelle für Nitrat-Aerosole, die einen wichtigen Anteil von **PM<sub>2,5</sub>** bilden und in Gegenwart von ultraviolettem Licht **Ozon** (O<sub>3</sub>)
- **Saurer Regen** entsteht durch die Bildung von **Salpetersäure** (HNO<sub>3</sub>) in der Erdatmosphäre durch folgende Reaktion:  
$$2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$$
- Gewitter sind eine natürliche Quelle von atmosphärischem NO<sub>2</sub>

# Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000-2023 (UBA 2024)



# Vermindertes Lungenwachstum bei Zunahme von NO<sub>2</sub> bei Schulkindern über einen Zeitraum von 8 Jahren

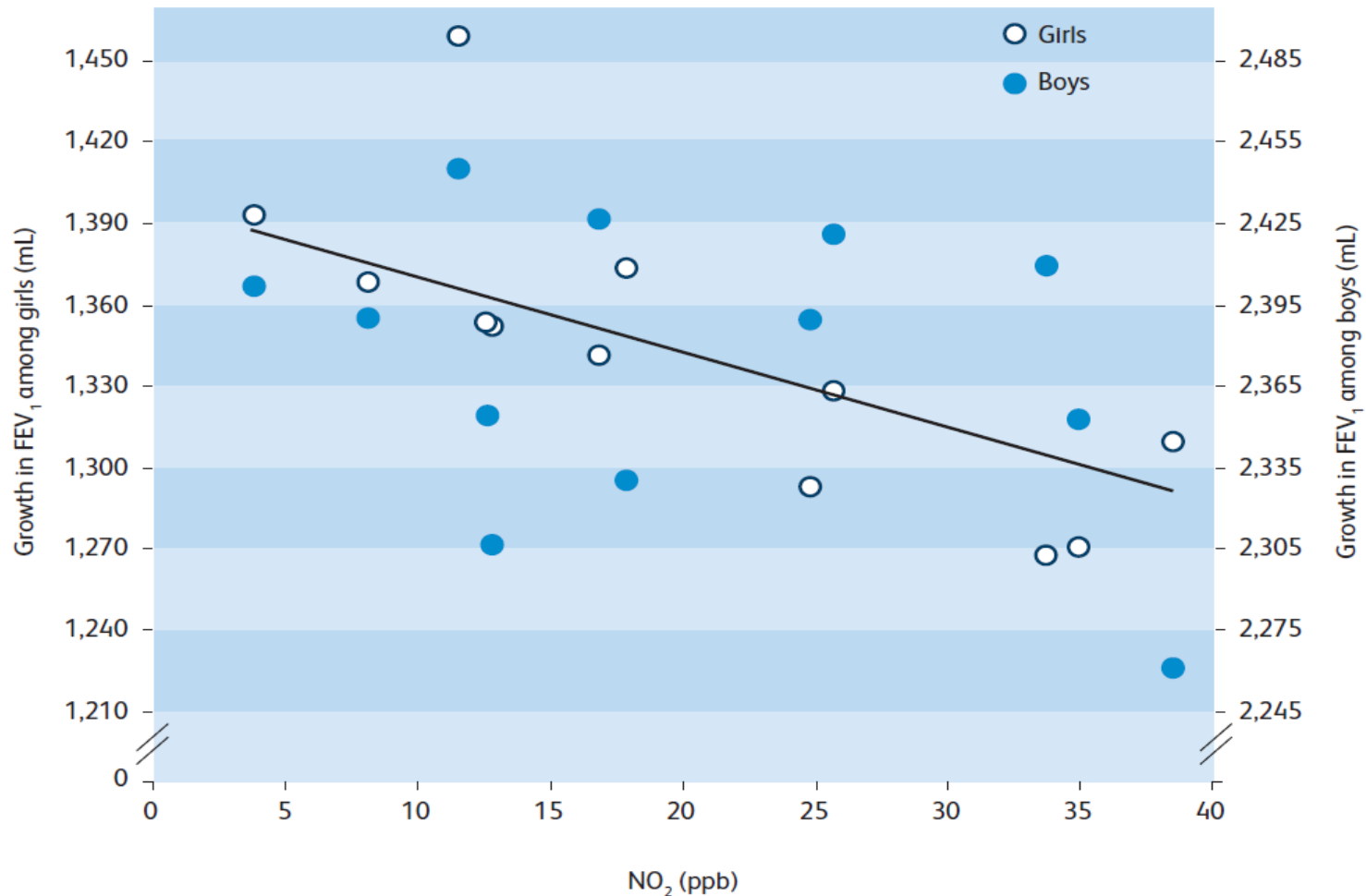


Fig 11. Average growth in FEV<sub>1</sub> in school-age girls (open circles) and boys (closed circles) during an 8-year period, plotted against average NO<sub>2</sub>. Each dot represents a separate community. As background NO<sub>2</sub> increases in communities, the rate of growth in FEV<sub>1</sub> decreases. A similar effect was observed for background PM. Adapted with permission from Gauderman *et al.*<sup>5</sup> © 2004 Massachusetts Medical Society.

# Schätzung des relativen Risikos (RR) zwischen Lungenkrebs und der Exposition von NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>

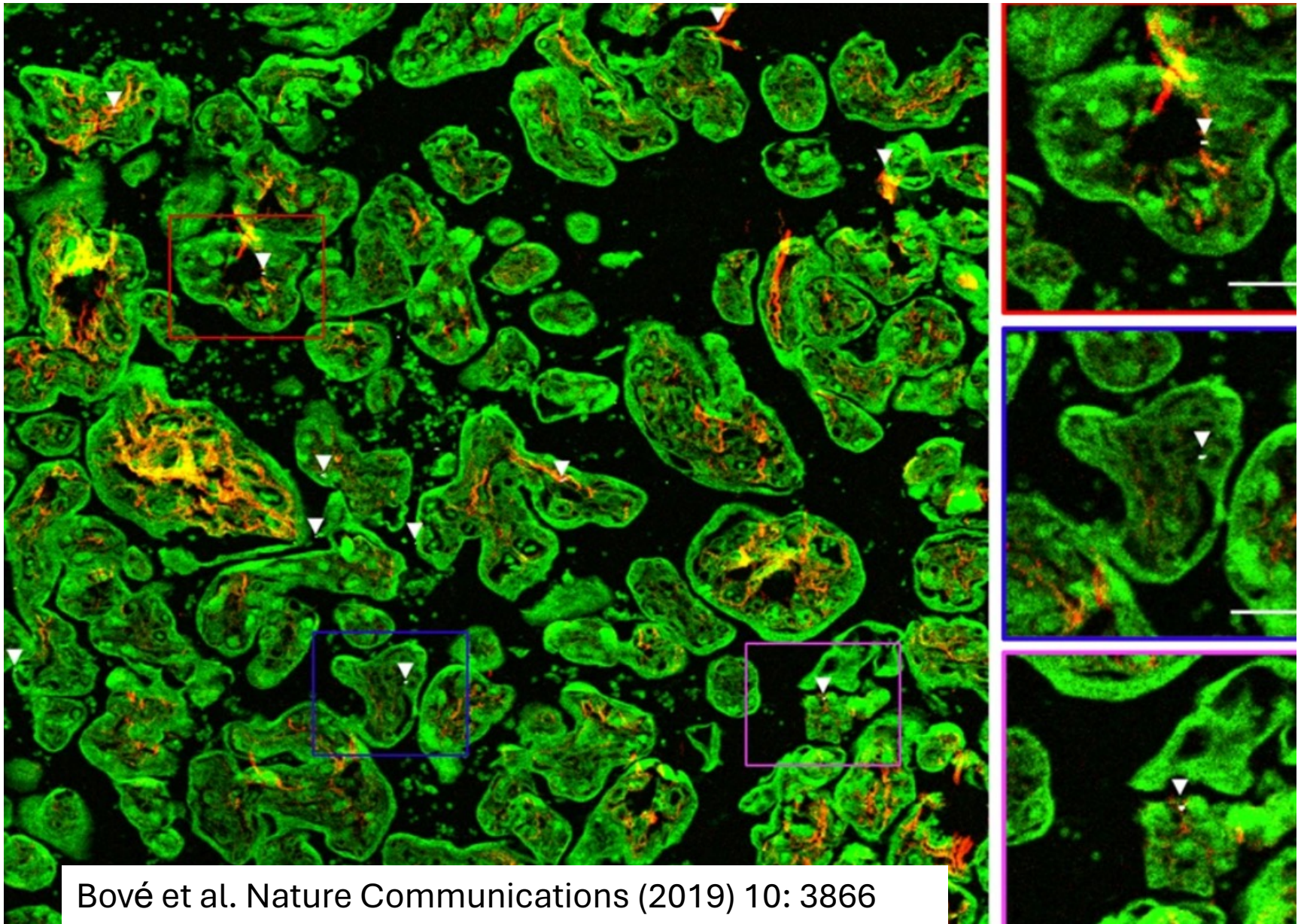
Studienerstautor		RR in %
Beelen	An der Straße 10 000 Kfz/Tag	5 (1,05)
	In 100 m Abstand > 335 000 Kfz/Tag	5 (1,05)
	Wohnen neben Straße	<b>11 (1,11)</b>
Raaschou-Nielsen	Per 10 000 Kfz km/Tag innerhalb von 200 m	3 (1,03)
	Hauptstraße innerhalb von 50 m	<b>21 (1,21)</b>
Cesaroni	Hauptstraße < 50m-250m	0 (0,99)
	>666 000 Kfz km/Tag	3 (1,03)
Heinrich	≤ 50 m von Hauptstraße	< 0 (0,62)
Hystad	10 Jahre < 50 m von Highway	<b>19 (1,19)</b>
	10 Jahre < 50 m von Hauptstraße	0 (1,0)
Puett	0-49 m von A1-A3 Roadways (vs. < 200 m)	5 (1,05)
	0-49 m von A1-A2 Roadways (vs. 200 m)	2 (1,02)
	0-49 m von A1 Roadways (vs. 200m)	<b>101 (2,01)</b>

(Hamra et al. Env Health Persp 2015; 123: 1107-1112)

# Negative Gesundheitseffekte von Luftschadstoffen

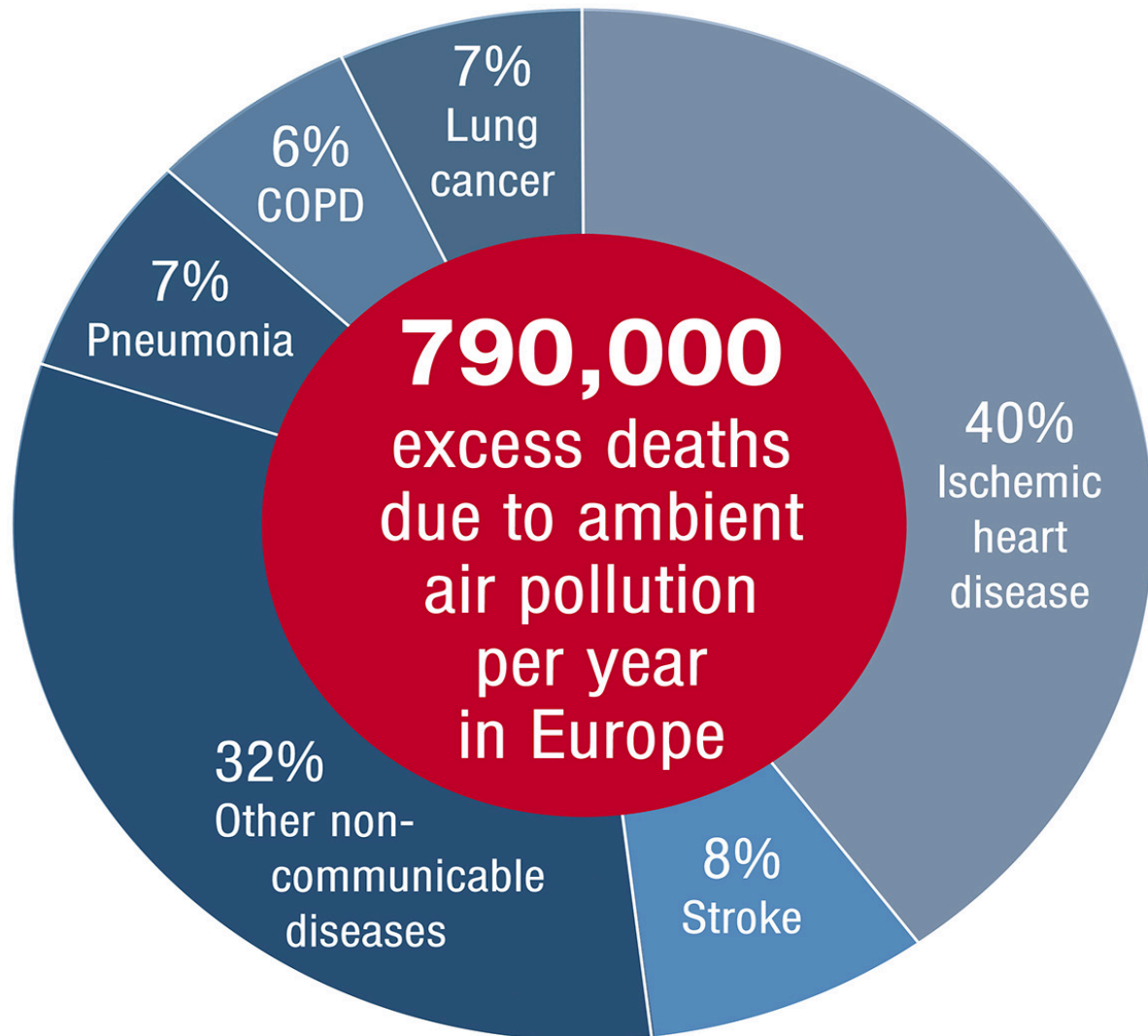
<b>Lunge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verminderte Lungenfunktion</li> <li>- akute und häufigere Verschlechterung (Asthma, COPD)</li> <li>- Anstieg von Bronchitiden und Pneumonien</li> <li>- erhöhtes Risiko von Lungenkrebs</li> </ul>		
<b>Herz</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktivierung der Blutgerinnung</li> <li>- Herzrhythmusstörungen</li> <li>- Arterienverkalkung</li> <li>- Blutdruckanstieg</li> </ul> </td> <td style="width: 40%; padding: 5px; vertical-align: top;">                     erhöhtes Risiko für Herzinfarkt Schlaganfall                 </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktivierung der Blutgerinnung</li> <li>- Herzrhythmusstörungen</li> <li>- Arterienverkalkung</li> <li>- Blutdruckanstieg</li> </ul>	erhöhtes Risiko für Herzinfarkt Schlaganfall
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktivierung der Blutgerinnung</li> <li>- Herzrhythmusstörungen</li> <li>- Arterienverkalkung</li> <li>- Blutdruckanstieg</li> </ul>	erhöhtes Risiko für Herzinfarkt Schlaganfall		
<b>System</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Störung des Stoffwechselprozessen</li> <li>- Glukoseregulationsstörungen</li> <li>- verringerte Insulinsensitivität</li> </ul> </td> <td style="width: 40%; padding: 5px; vertical-align: top;">                     Erhöhtes Risiko für Typ 2 Diabetes Schwangerschaftsdiabetes                 </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Störung des Stoffwechselprozessen</li> <li>- Glukoseregulationsstörungen</li> <li>- verringerte Insulinsensitivität</li> </ul>	Erhöhtes Risiko für Typ 2 Diabetes Schwangerschaftsdiabetes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Störung des Stoffwechselprozessen</li> <li>- Glukoseregulationsstörungen</li> <li>- verringerte Insulinsensitivität</li> </ul>	Erhöhtes Risiko für Typ 2 Diabetes Schwangerschaftsdiabetes		
<b>Gehirn</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- verminderte neurokognitive Funktion</li> <li>- gestörte neuropsychologische Entwicklung bei Kindern</li> <li>- Neurodegeneration bei Erwachsenen</li> </ul> </td> <td style="width: 40%; padding: 5px; vertical-align: top;">                     Hinweis auf Demenz Alzheimer                 </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verminderte neurokognitive Funktion</li> <li>- gestörte neuropsychologische Entwicklung bei Kindern</li> <li>- Neurodegeneration bei Erwachsenen</li> </ul>	Hinweis auf Demenz Alzheimer
<ul style="list-style-type: none"> <li>- verminderte neurokognitive Funktion</li> <li>- gestörte neuropsychologische Entwicklung bei Kindern</li> <li>- Neurodegeneration bei Erwachsenen</li> </ul>	Hinweis auf Demenz Alzheimer		
<b>Fötus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erhöhtes Asthma-Risiko im Kindesalter</li> <li>- erhöhtes Risiko für reduziertes Geburtsgewicht</li> <li>- Risiko für Früh- und Totgeburten</li> <li>- verminderte Lungenfunktion bei Säuglingen und Kleinkindern</li> <li>- erhöhtes Risiko für Schwangerschaftskomplikationen</li> </ul>		

# Nachweis von Feinstaub (Black Carbon) in der kindlichen Seite der Plazenta



Bové et al. Nature Communications (2019) 10: 3866

# Geschätzte zusätzliche Sterbefälle pro Jahr durch Air Pollution in Europa



	Sterbefälle/ 100.000/Jahr
Europa	133
EU-28	129
Deutschland	154
Italien	136
Polen	150
Großbritannien	98
Frankreich	105

# Weltweite Folgen von Klimawandel und Gesundheit

Climate Action, Fast Facts, WHO and United Nation, 2024

1. Der Klimawandel schädigt die Gesundheit durch Luftverschmutzung, Krankheiten, Extremwetterereignisse, Vertreibung, Ernährungsmangel, psychische Erkrankungen. Jedes Jahr sterben etwa 13 Millionen Menschen durch Umweltfaktoren.
2. Das Erreichen der Ziele des Pariser Abkommens könnte jährlich etwa eine Million Menschenleben bis 2050 retten, allein durch die Verringerung der Luftverschmutzung.
3. 250.000 zusätzliche klimabedingte Todesfälle durch Mangelernährung, Malaria, Durchfall und Hitzestress können vermieden werden.
4. Über 90 Prozent der Menschen atmen verschmutzte Luft ein, die größtenteils durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht, Im Jahr 2018 verursachte die Luftverschmutzung 2,9 Billionen US-Dollar an gesundheitlichen und wirtschaftlichen Kosten, etwa 8 Milliarden US-Dollar pro Tag.
5. Der Verkehr verursacht rund 20 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen.
6. Systeme zur Herstellung, Verpackung und Verteilung von Lebensmitteln erzeugen ein Drittel der Gasemissionen.
7. Die abnehmende Biodiversity erhöht das Risiko von Infektionskrankheiten.

# Mikro/Nanoplastik (MNP)

**Ethics Advisor von April 2021 – April 2025 des  
Forschungsprojekts PlasticsFatE  
Grant agreement ID: 965367**



# Plastik überall



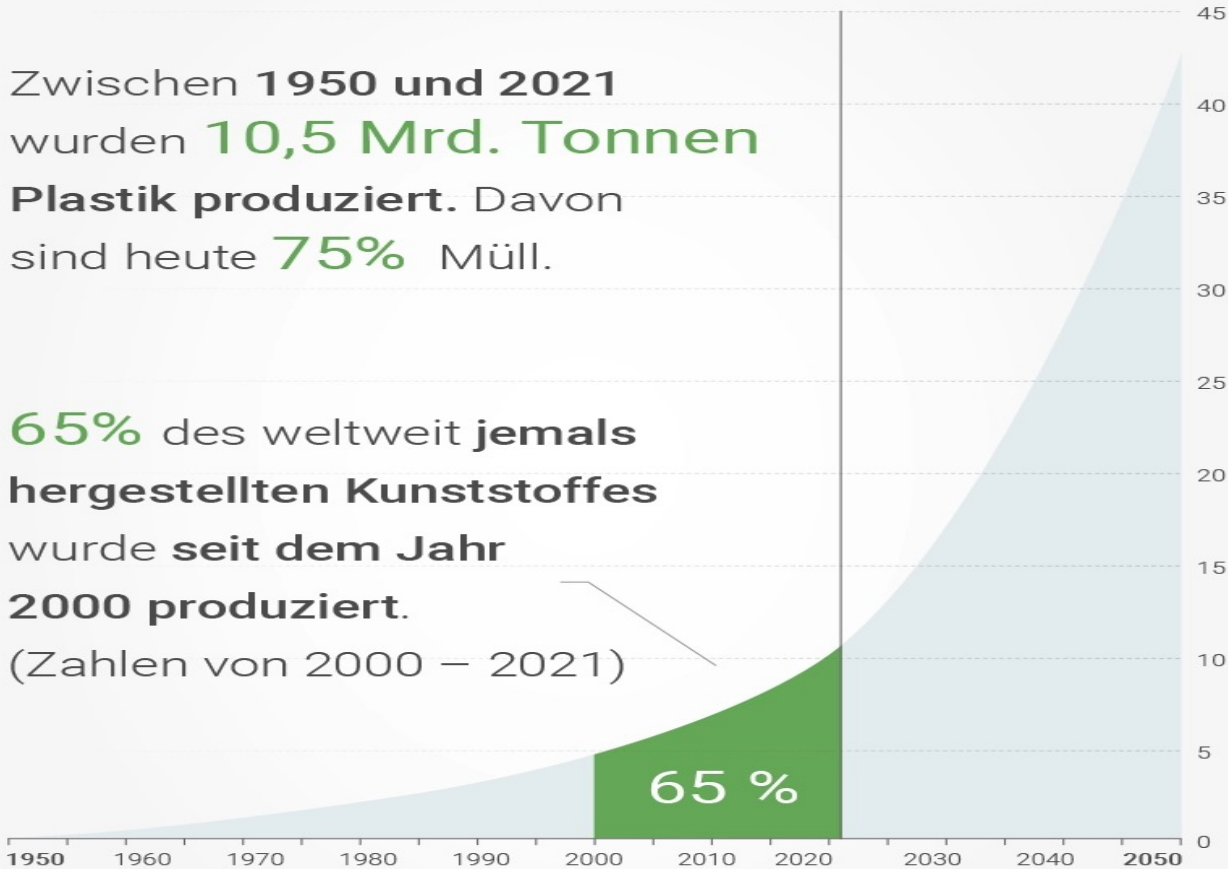
TIDE Chandelier – Stuart Haygarth

# Globale Plastik-Produktion

Zwischen 1950 und 2021 in Milliarden Tonnen

Zwischen **1950 und 2021** wurden **10,5 Mrd. Tonnen Plastik produziert**. Davon sind heute **75%** Müll.

**65%** des weltweit **jemals hergestellten Kunststoffes** wurde **seit dem Jahr 2000 produziert**.  
(Zahlen von 2000 – 2021)



Laut Forschern sollen **bis 2050** weitere **32 Mrd. Tonnen** Kunststoff produziert werden.

- **Global gesehen wurden nur rund 9% davon recycelt**
- **12% verbrannt**
- **79% deponiert oder in der Umwelt entsorgt**

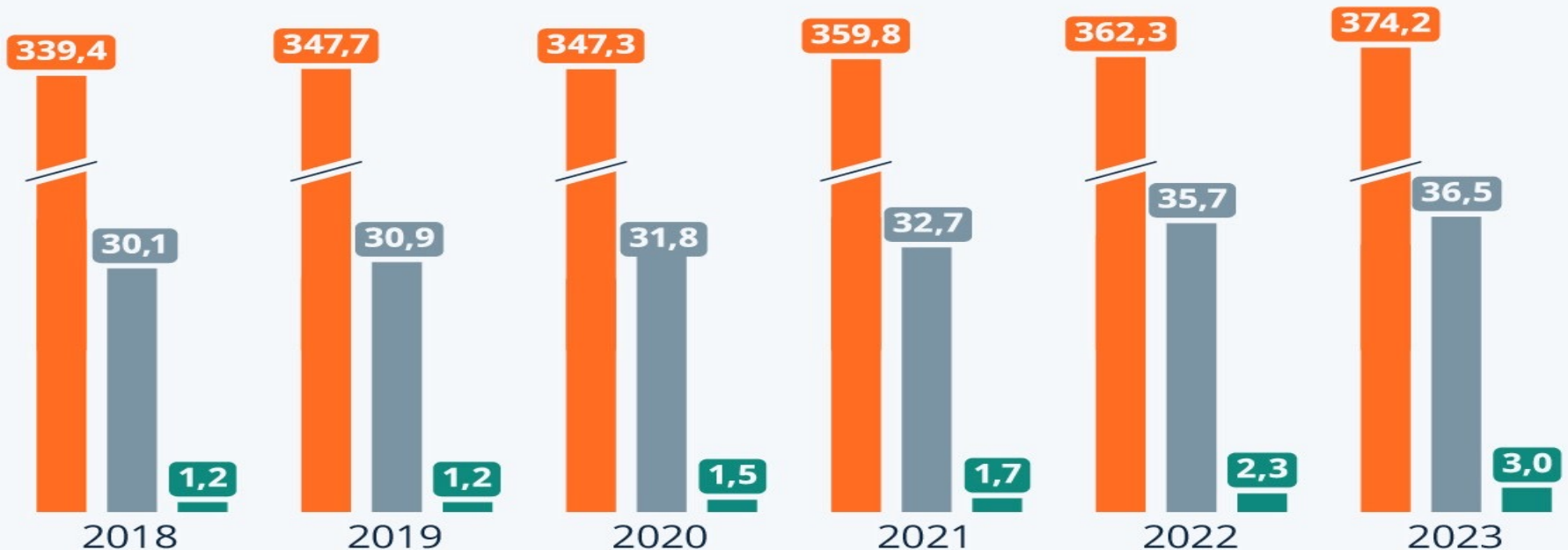
# Die Menschheit produziert immer mehr Plastik

Menge des weltweit produzierten Kunststoffes nach genutzten Rohstoffen (in Mio. Tonnen)



■ Aus fossilen Rohstoffen ■ Aus recyceltem Plastik\*  
■ Aus biologischen Rohstoffen

**Etwa 414 Mio. Tonnen**

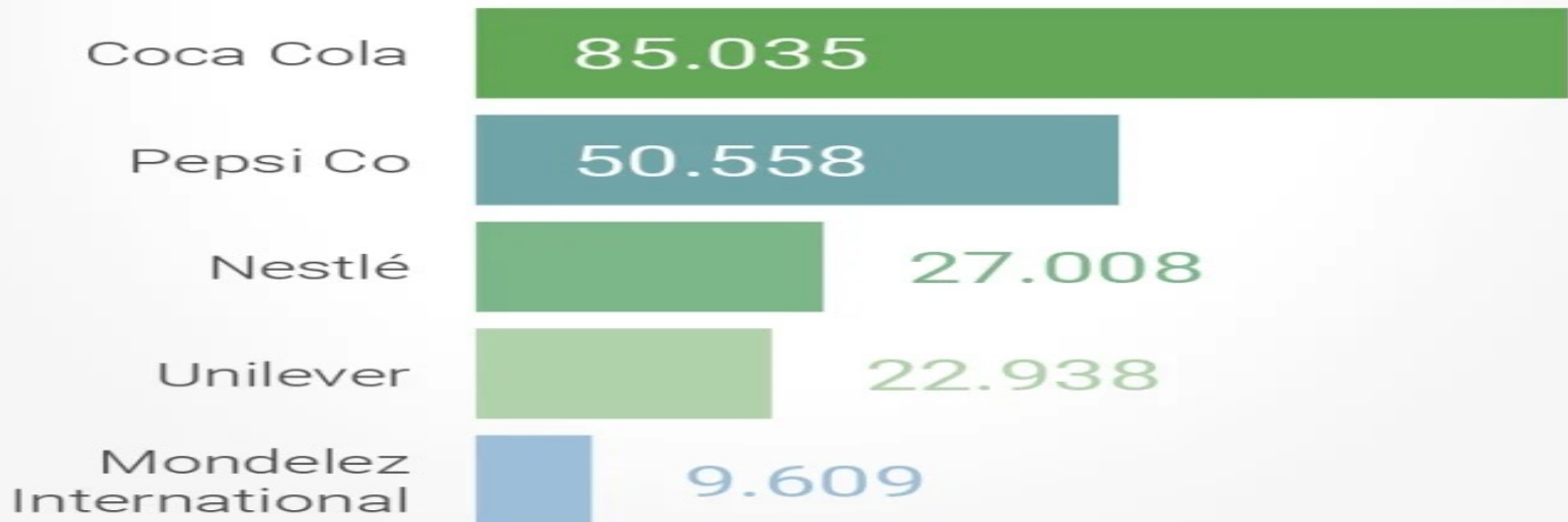


\* überwiegend mechanisch, zu einem kleinen Teil chemisch

Quelle: Plastics Europe; Grafik: © [Statista \(CC BY-ND 3.0\)](https://www.statista.com/)

# Top 5 Firmen, die am meisten Plastikmüll verursachen

In den letzten 5 Jahren wurden **bei 2.373 Müllsammelaktionen in 87 Ländern 2.125.414 Teile gesammelt** und katalogisiert. Dabei waren vor allem folgende Firmen vertreten:



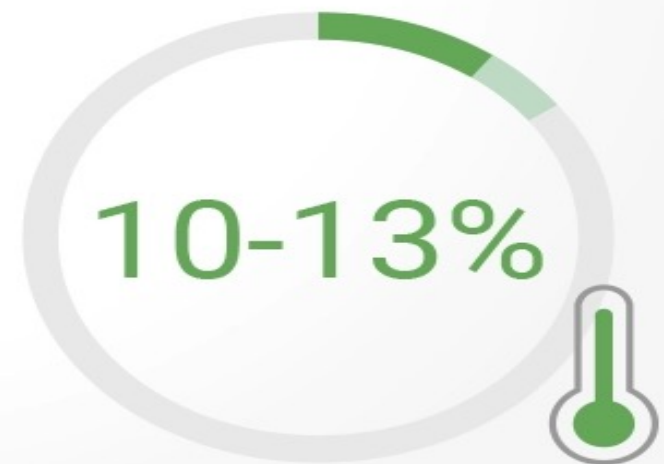
<https://aktivbewusst.de/plastikmuell-statistiken-deutschland-weltweit/>

Wird die weltweite Plastikproduktion nicht gebremst, dann werden allein Kunststoffe bis 2050 für weitere

**56 Gigatonnen** CO<sub>2</sub>-Emissionen

(56 Milliarden Tonnen) verantwortlich sein.

Das entspricht zwischen **10 und 13 %** des verbleibenden CO<sub>2</sub>-Budgets für das 1,5 Grad-Ziel.



<https://aktivbewusst.de/plastikmuell-statistiken-deutschland-weltweit/>

# Geschätzte Abbauezeiten von häufigem Schwemmgut



**Natürliche Materialien wie Baumwolle oder Pappe verrotten nach wenigen Monaten.**

**Produkte aus Kunststoff werden zwar über viele Jahre hinweg zu kleinsten Plastikteilchen zersetzt, aber nie vollständig abgebaut. (Daten: Fraunhofer UMSICHT FRAUNHOFER UMSICHT 2017)**

# Folgen der Einleitung von Plastikmüll in die Meere

- 10 % der weltweiten Plastikproduktion landet im Meer
- 13 000 Plastikteile schwimmen auf 1m<sup>2</sup> Meeresoberfläche
- 5,25 Trillionen Plastikteile mit 270 000 t im Meer
- 15 % werden an Küsten abgelagert
- 15 % schwimmen als Inseln
- 70 % werden auf Meeresgrund abgelagert
- 100 000 tote Meeressäuger/Jahr durch Plastik
- 1 000 000 tote Vögel/Jahr durch Plastik
- Im Jahr 2050 mehr Plastikmüll im Meer als Fische (gewichtsbezogen)

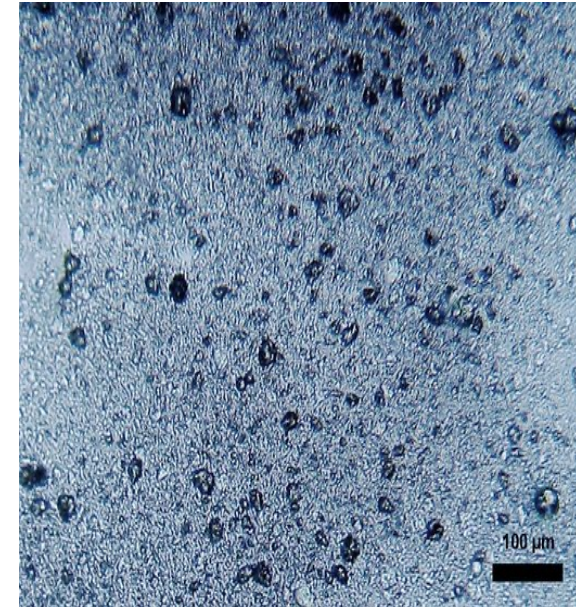
# Mageninhalt eines toten Albatros



Chris Jordan (via U.S. Fish and Wildlife Service Headquarters) / CC BY 2.0

# Was ist Mikroplastik/Nanoplastik (MPN)?

- Als **Mikroplastik** bezeichnet man nach einer Definition der U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration kleine Kunststoff-Teilchen mit einem Durchmesser unter 5 mm.
- **Nanoplastik** hat einen Durchmesser von 10 bis 100 nm (1 nm = 0,000 001 mm)
- Diese Definition wird auch vom deutschen Umweltbundesamt in Anlehnung an die technische Definition aus den Kriterien des EU-Ecolabel für Wasch- und Reinigungsmittel genutzt
- Man kann unterscheiden zwischen bewusst erzeugten Mikroplastik-Partikeln zu Gebrauchszwecken, z. B. in Kosmetika (**primäres Mikroplastik**) und solchen, die durch den Zerfall von Kunststoffprodukten entstehen (**sekundäres Mikroplastik/Plastikmüll**)



**10–30 Mikrometer kleine Kunststoffkügelchen aus Polyethylen in einer Zahnpasta.**  
(Dantor, Wikipedia)

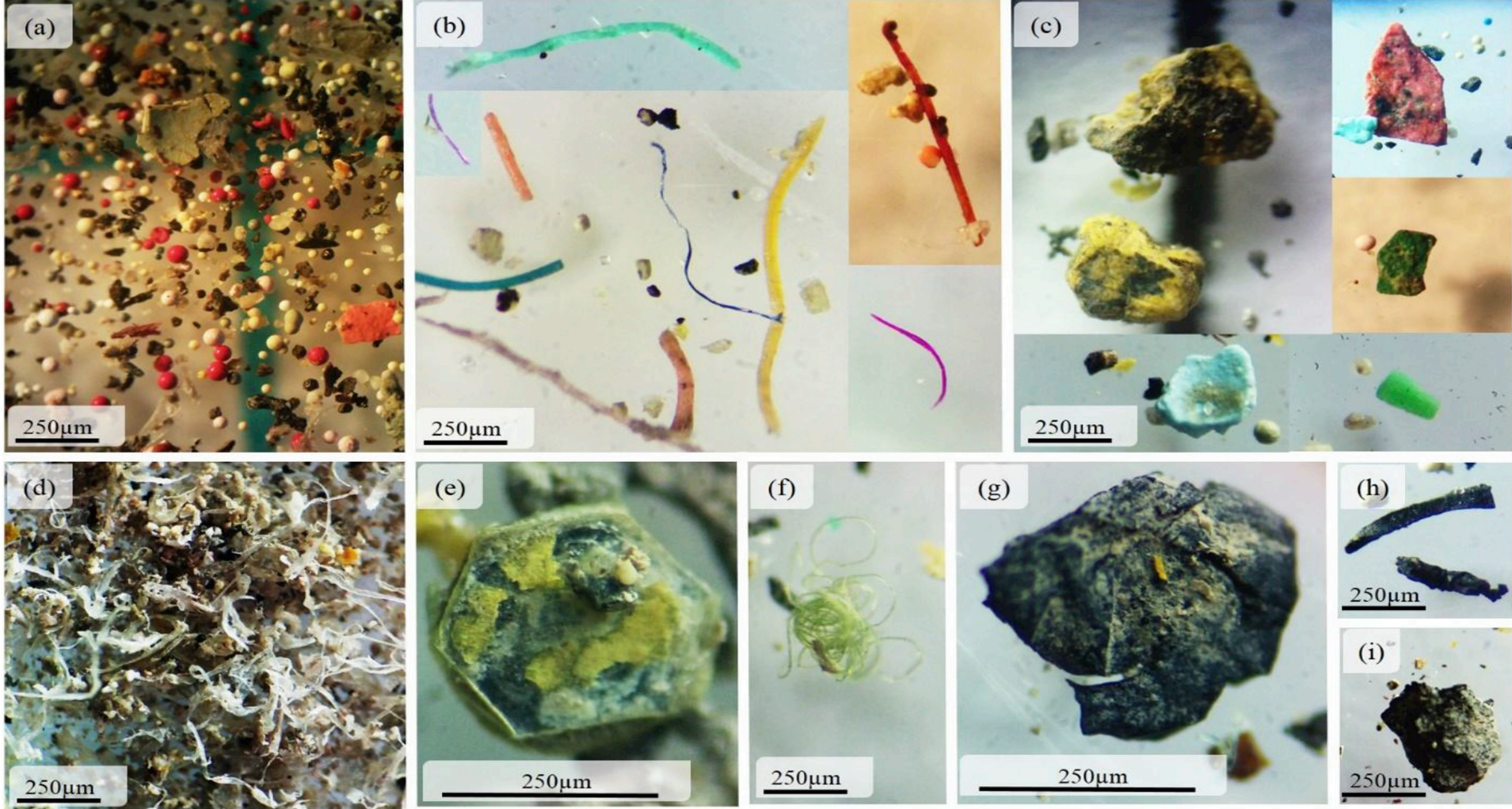
# Primäres Mikroplastik in den Ozeanen - Woher?

- Der überwiegende Teil des primären Mikroplastiks in den Ozeanen (98 %) wird durch Aktivitäten an Land verursacht und zu zwei Prozent durch Aktivitäten auf See
- Der größte Teil dieser Partikel stammt aus dem Waschen von **synthetischen Textilien (35 %)** und aus dem **Abrieb von Reifen von Kraftfahrzeugen (28 %)** während der Fahrt
- Weiter folgen **Feinstaub aus Städten (24 %)**, Abrieb von Straßenmarkierungen 7 %, aus Schiffsbeschichtungen (3,7 %), Kosmetikprodukten (2 %) und Plastikpellets (0,3 %)
- Die Hauptwege dieser Kunststoffe in den Ozean führen über Straßenabflüsse (66 %), Abwasserbehandlungssysteme (25 %) und durch Windübertragung (7 %)

# Sekundäres Mikroplastik - Woher?

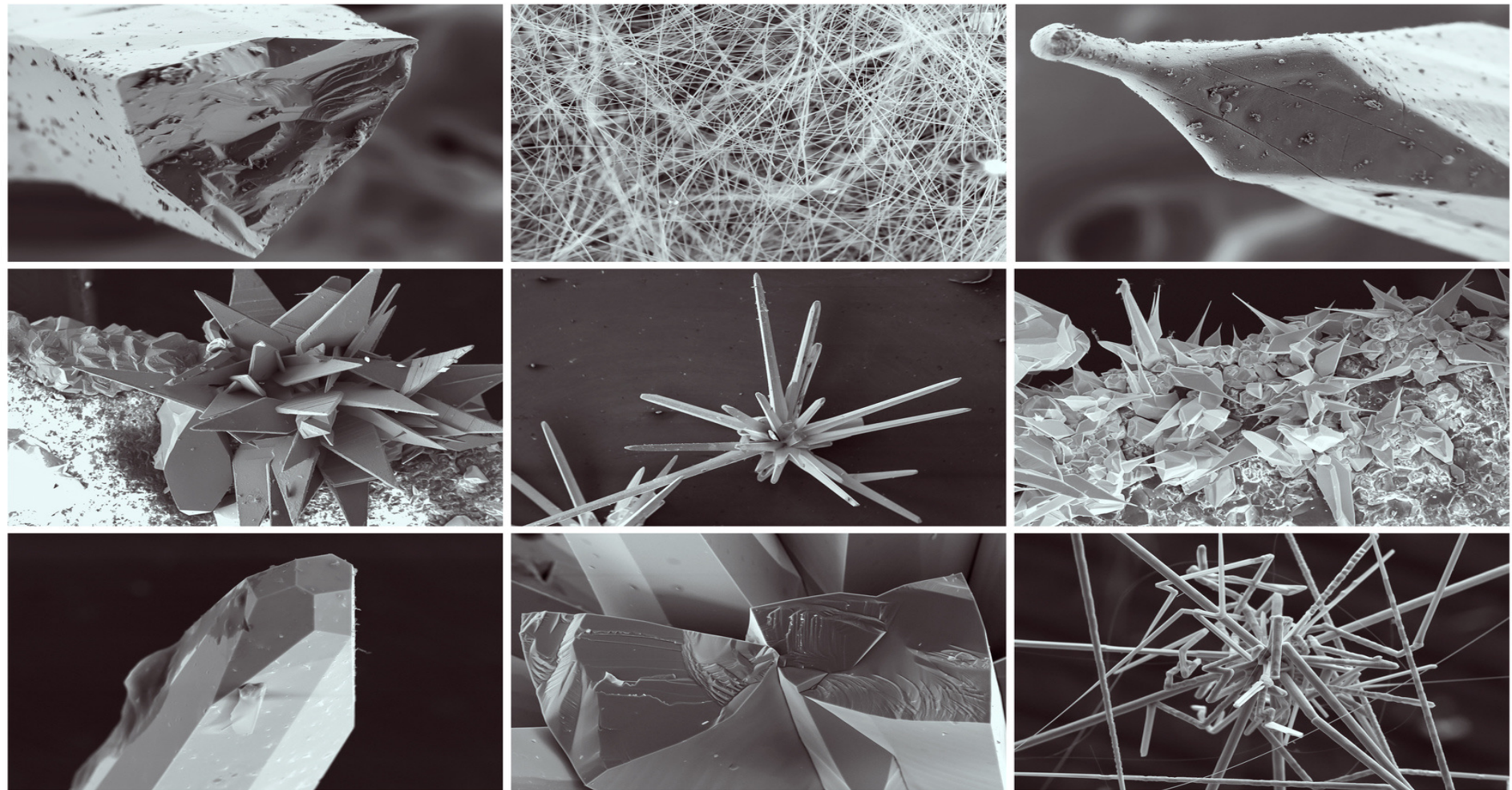
- **Versprödung** und Zersetzung größerer Kunststoffteile (Treibgut, z. B. Verpackungen, Möbelreste, Bau- und Kleinteile, Geisternetze usw.)
- durch die im Sonnenlicht enthaltene **UV-Strahlung**
- durch die mechanische Zerkleinerung durch **Wellenbewegungen**
- der Abbau dauert oft über hundert Jahre

# Mikroplastik: Partikel und Fasern unter dem Mikroskop



S. Abbasi et al. Environmental Pollution 2019, 244: 153-164

# Nanoplastik unter dem Elektronenmikroskop



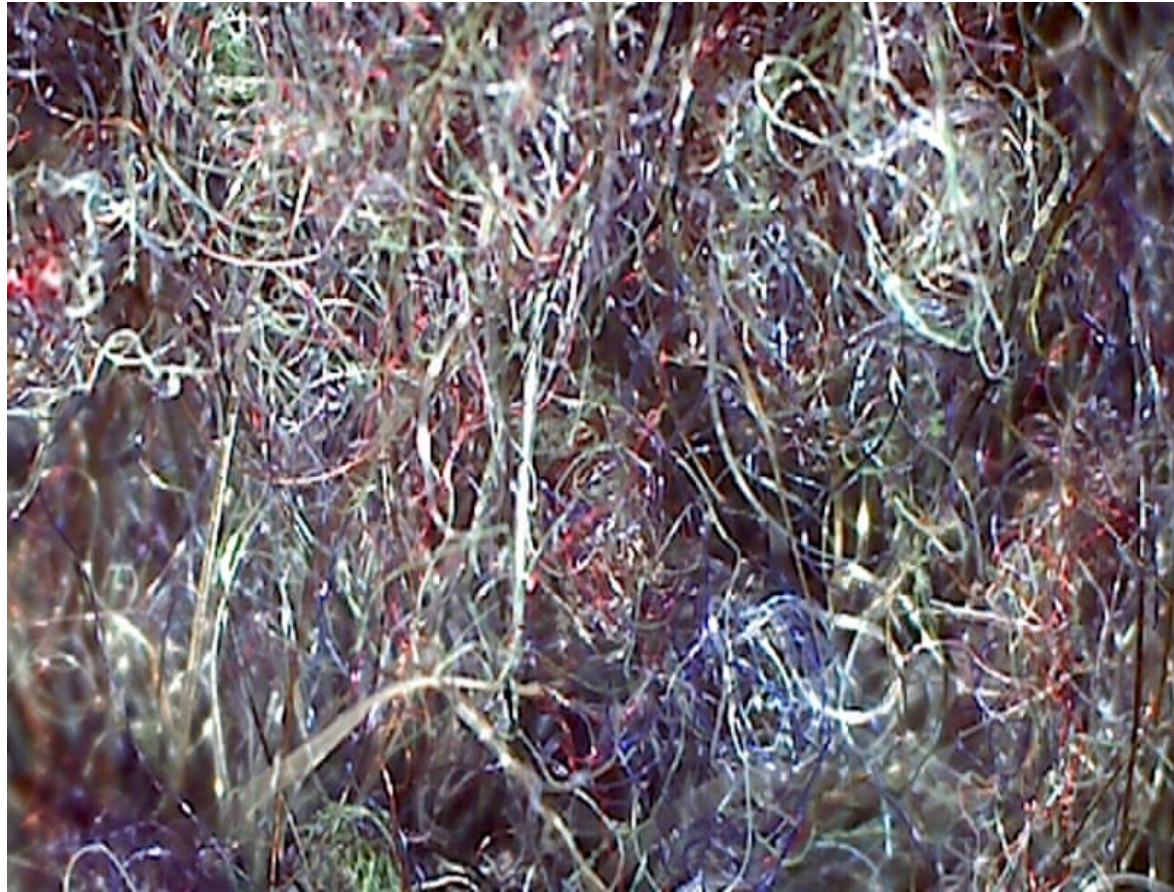
Quelle: yurazaga / Fotolia.com

# Mikroplastik Fasern im Waschmaschinenabfluss

**Definition nach WHO:  
Länge > 5  $\mu\text{m}$ ,**

**Durchmesser < 3  $\mu\text{m}$ ,**

**Länge/Durchmesser >  
3/1**



A magnified image of clothing microfibres from washing machine effluent. One study found that a fleece jacket can shed as many as 250 000 fibres per wash. Photograph: Courtesy of Rozalia Project

# Mikroplastik/Nanoplastik in Böden

- Nach Daten des Verbands der Europäischen Kunststoffherzeuger wurden im Jahr 2014 in Europa rund 47,8 Mio. Tonnen verarbeitet
- Im Abfallwirtschaftssystem kamen hiervon jedoch nur 25,8 Mio. Tonnen an (PlasticsEurope 2015)
- Ein wichtiger Faktor für die Verbreitung von Mikroplastik ist Abwasser. 80 bis 90 % der darin enthaltenen Partikel, etwa Kleiderfasern, verbleiben im **Klärschlamm**, der als Düngemittel für Felder verwendet wird
- **Kompostierte Bioabfälle** aus plastikumhüllten Lebensmittel führen zu Bodeneinträgen
- Die Belastung durch Plastik an Land und in den Böden wird zwischen 4 und 32 mal höher eingeschätzt als in den Meeren (Gionfra 2018)

# Mikroplastik in der Nahrungskette

- Nach UN Report wurde bei 800 Tierarten Mikroplastik gefunden
- Der Hauptteil fand sich im Verdauungstrakt
- Je kleiner die Partikel, desto größer die Anreicherung im Gewebe
- Problematisch sind Meerestiere als Nahrung bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 20 kg/Kopf/Jahr
- Meerestiere aus Aquakulturen enthalten weniger Mikroplastik als frei lebende Meerestiere

# Mikroplastik in Lebensmitteln

<b>Nachweise</b>	<b>Eintragswege</b>	<b>Autoren</b>
Honig, Zucker, Bier	Luft	Liebezeit 2013 und 2014
Muscheln	Meer	De Witte 2014, Li 2015, Van Cauwenberghe 2014 und 2015
Krabben	Meer	Devriese 2015
Fisch	Meer	EFSA Panel 2015
Meersalz/Speisesalz	Meer	Yang 2015, Karami 2017, Iniguez 2017
Mineralwasser	PET- und Glasflaschen	Oßmann 2017, Schymanski 2018

# Plastik aus Polymertypen und ihre Verwendungen

<b>Polymertyp</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>Verwendung</b>
<b>Polymethylmethacrylat</b>	PMMA	Brillengläser, Rückleuchten, Bedachung
<b>Polyethylen</b>	PE	Flaschen, Spielzeug, Tragetaschen, Müllbeutel, Beschichtungen, Verpackungen, Gas- und Wasserrohre, Kabelisolation
<b>Polypropylen</b>	PP	Lebensmittel, Autoindustrie
<b>Polyvinylchlorid</b>	PVC	Gebäude, Transport, Verpackungen, Elektronik
<b>Polyethylenterephthalat</b>	PET	Getränkeflaschen
<b>Polystyrol</b>	PS	Lebensmittelverpackungen, Automatenbecher, Plastikbesteck, CD-Hüllen

# Wie kann Mikroplastik krank machen?

Plastik enthält gefährliche Zusatzstoffe wie:

- **Weichmacher (Phthalate)**

  - DEHP (Diethylhexylphthalat)

  - DBP (Dibutylphthalat)

  - BBP (Benzylbutylphthalat)

  - DIDP (Diisodecylphthalat)

  - DINP (Diisonylphthalat)

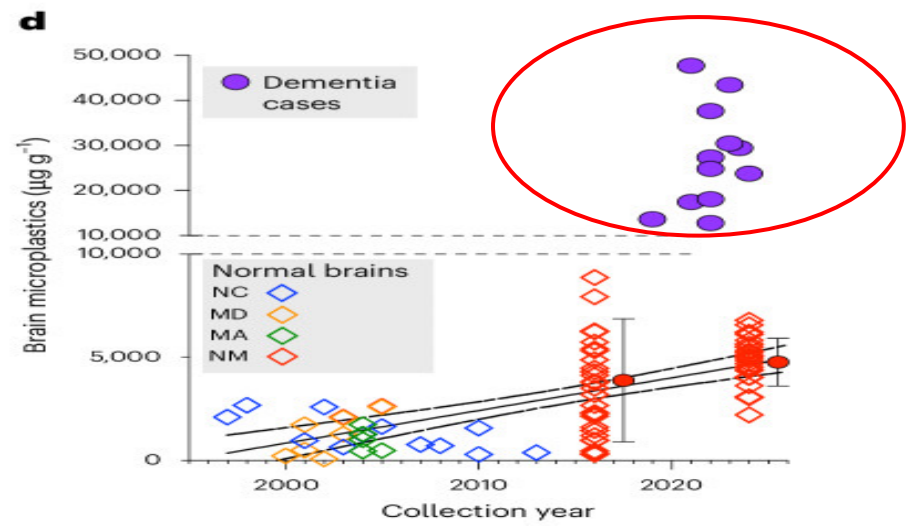
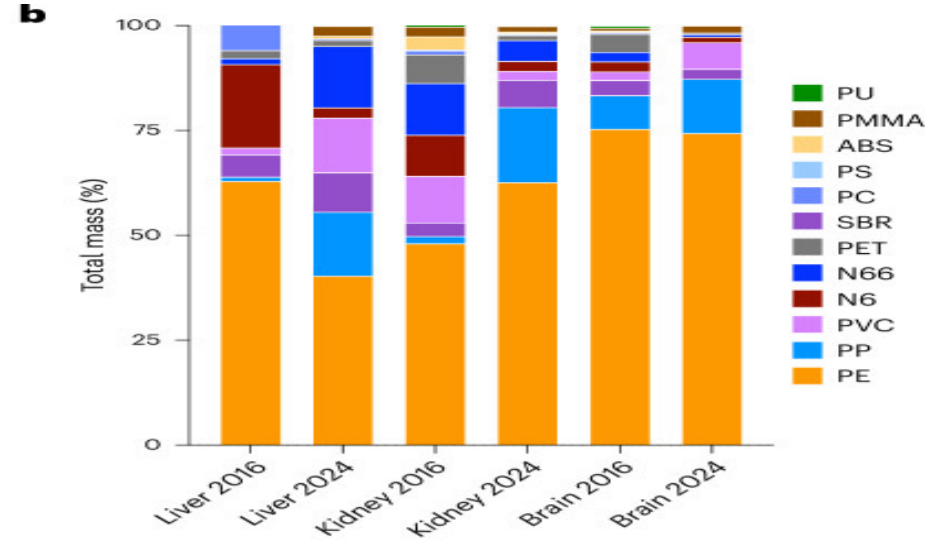
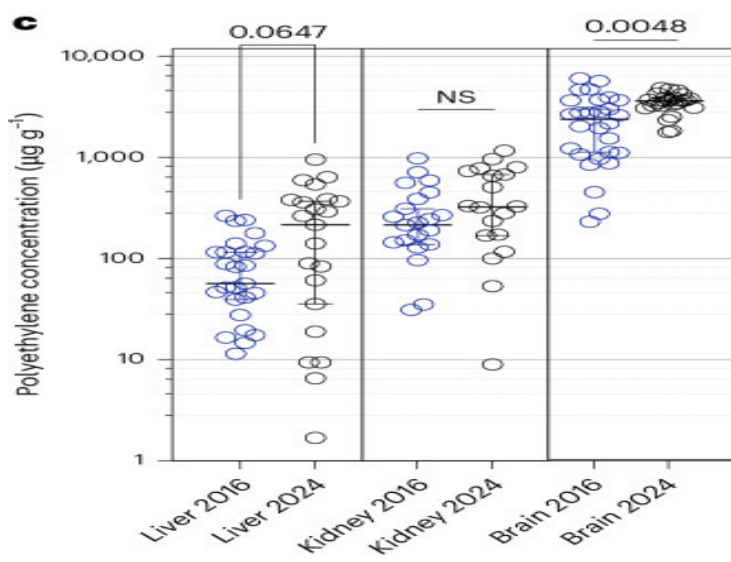
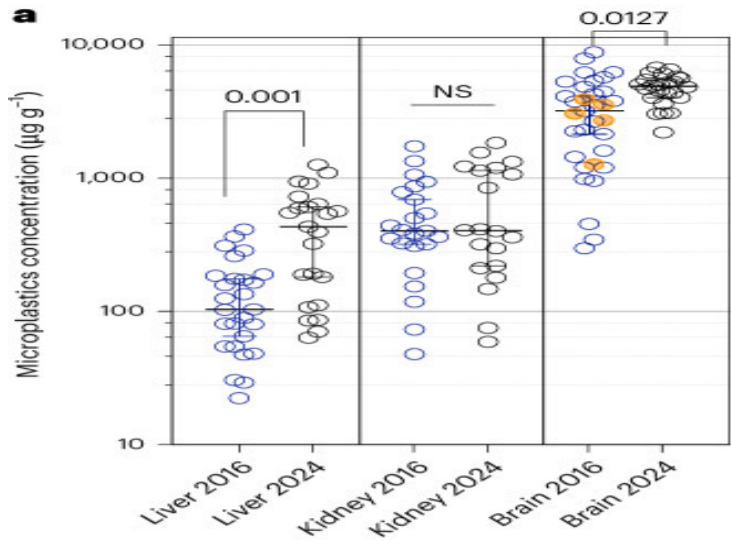
Phthalat-Alternative: phthalatfreie Weichmacher  
DINCH (1,2-Cyclohexandicarbonsäurediisononylester)

- **Bisphenol A**

- **Bromierte Flammschutzmittel**

- **Organozinnverbindungen**

# Vergleich von MNP-Konzentrationen in Leber, Niere und Gehirn von Verstorbenen (2016 vs. 2024)



# MNP in Gehirn, Niere und Leber bei Verstorbenen

- Höchste MNP-Konzentrationen im Gehirn
- Im Jahr 2024 fünffach höhere MNP-Konzentrationen im Gehirn im Vergleich zu 2016
- 0,5 % des Gehirn-Gesamtgewichts
- 3–5-mal höher im Gehirn bei Dementen
- Am häufigsten sind Polyethylen-Nanopartikel < 200 nm (Vorkommen in Einwegverpackungen, Shampoo Flaschen, Frischhaltebeutel)

# **Studie: Microplastics and nanoplastics (MNP) in brain tumours and the healthy human brain**

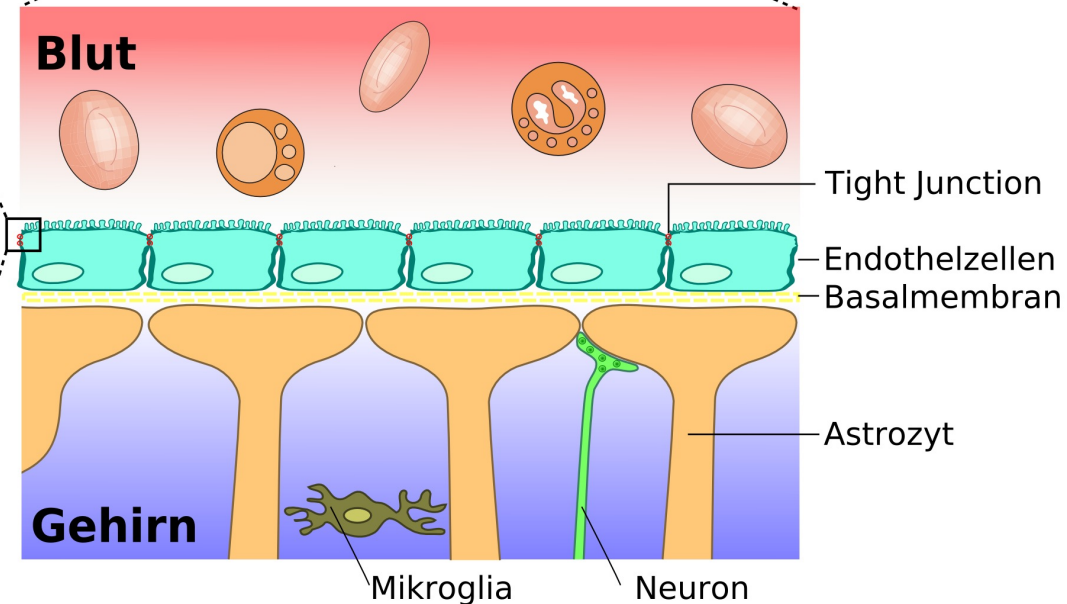
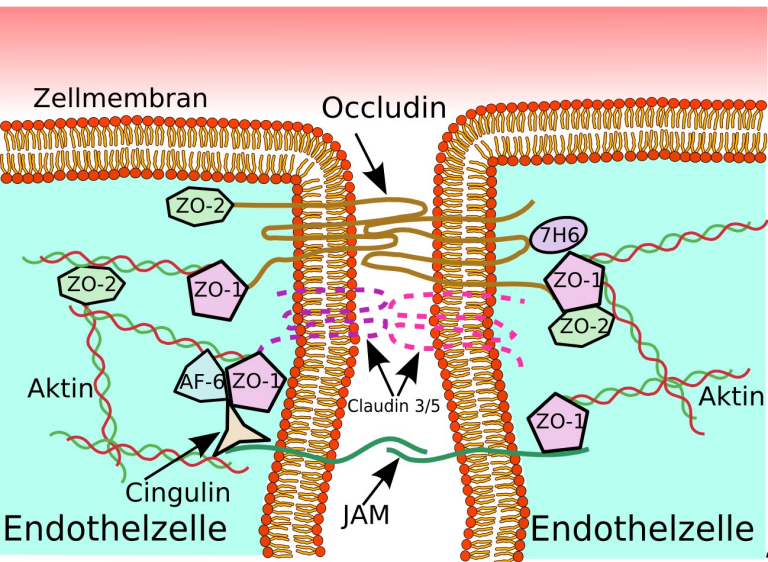
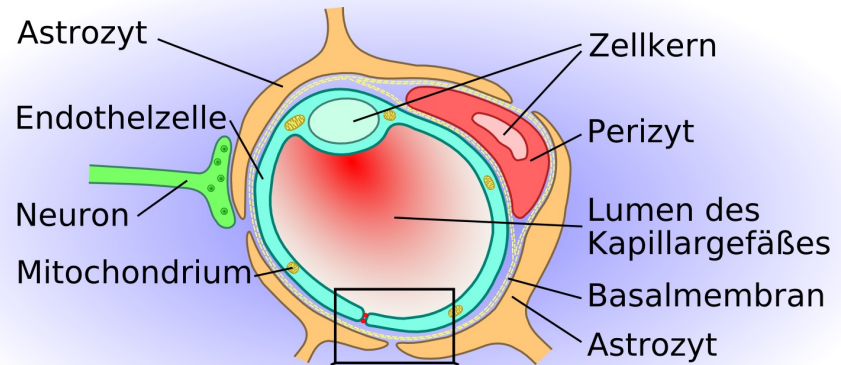
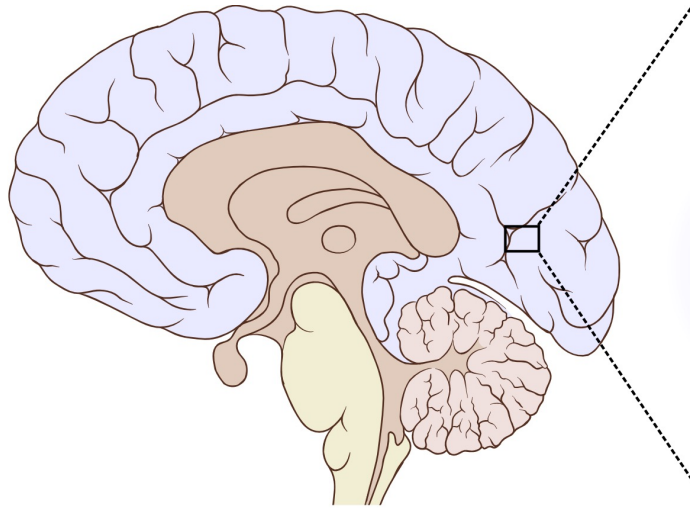
- In gesundem Hirngewebe lag die durchschnittliche Konzentration von MNP bei 50,3 µg/g Hirngewebe
- In den Hirnhäuten gesunder Personen wurden 60,9 µg/g gemessen
- Eine besonders hohe Belastung zeigte sich im peritumoralen Gewebe, etwa bei Gliomen, mit durchschnittlich 129,4 µg/g
- Im eigentlichen Tumorgewebe wurden jedoch signifikant niedrigere Werte festgestellt

Li R et al. Nature Health (online) 20. April 2026

# Warum sind im Gehirn die höchsten MPN-Konzentrationen bei Demenz?

- Mögliche Störung der Blut-Hirn-Schranke
- MPN triggert Entzündungsreaktion
- MPN fördert Neurodegeneration

# Blut-Hirn-Schranke



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6067063>

## Zusammenfassung (I)

### Mögliche Gesundheitsschäden durch Mikroplastik/Nanoplastik

- Allergien
- Übergewicht
- Krebs
- Herzkrankheiten
- Unfruchtbarkeit
- Diabetes mellitus
- Darmerkrankungen
- Nierenerkrankungen
- Lebererkrankungen
- Lungenerkrankungen
- Eingeschränkte Organentwicklung bei Ungeborenen
- Gehirnerkrankungen z.B. Schlaganfall, Demenz, Alzheimer
- Hohes gesundheitliches Risiko für Neugeborene/Kinder

# Zusammenfassung (II)

## Mögliche Gesundheitsschäden durch mikroplastische Fasern

### Direkte Effekte :

- Entzündungen der Atemwege
- Interstitielle Lungenerkrankungen (Lungenfibrosen)
- Exogen-allergische Alveolitis
- Lungenkrebs bei Ratten

### Vehikelfunktion für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK):

- Entzündung der Atemwege, Haut, Augen, Verdauungstrakt
- Krebs von Lunge, Kehlkopf, Haut, Magen, Darm, Harnblase
- Schädigung des Embryos
- Eingeschränkte Fortpflanzungsfähigkeit

(Gasperi et al. Microplastic in air: Are we breathing it in? Current Opinion in Environm Sci and Health 2018, 1: 1-5)



# Wertschätzen statt Wegwerfen!

## Maßnahmen zur Abfallvermeidung:



Verbot von Wegwerf-Produkten aus Plastik  
(z.B. Trinkhalme, Einweg-Geschirr)



Ausweitung der Pfandpflicht **auf alle Dosen und Plastikflaschen**



Höhere, **verbindliche Recycling-Quoten**  
für Plastikverpackungen



Verpflichtende Mehrweg-Angebote  
**im To-Go-Bereich**



**Bessere Kennzeichnung** von Einweg-  
und Mehrwegflaschen



Bessere Reparatur- und Rückgabe-  
Möglichkeiten **von Elektrogeräten**



Verbot von Plastiktüten **in Geschäften**

# Repair-Café



Von HellasX - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45007385>



# Exportverbot für Plastikabfälle:

Plastik, das schlecht recycelbar  
ist, darf künftig nicht mehr frei  
gehandelt und aus der EU in  
andere Länder exportiert werden.



# Warum wir die Plastiktüte verbieten



**1,6 Milliarden**

Plastiktüten werden in  
Deutschland pro Jahr  
verbraucht...

...das sind mehr als  
**3.000 Stück**  
pro Minute.

Aneinander gereiht  
würden die Tüten

**20-mal**

den Äquator  
umrunden!



Im Durchschnitt wird  
eine Plastiktüte nicht länger als  
**20 Minuten** genutzt...



...es dauert aber  
**viele Jahrzehnte**  
bis sie sich abbaut, wenn sie  
einmal in die Umwelt gelangt.

# Strategien zur Reduktion von MNP (I)

- **Leitungswasser statt Plastik-Flaschenwasser**  
kann MNP-Belastung von 90.000 auf 4.000 Partikel pro Jahr reduzieren
- **Wenig verarbeitete Lebensmittel**  
z. B. Chicken Nuggets enthalten 30-mal mehr MNP/gr als Hähnchenbrust
- **Vermeidung von Plastik-Teebeutel**  
1 Teebeutel, 95°C erhitzt, kann 11,6 Milliarden von Mikro- und 3,1 Milliarden Nano-Partikel freisetzen
- **Keine Plastikbehälter für Lebensmittel**  
Erhitzen von 3 Min kann bis zu 2,11 Milliarden MNP/cm<sup>2</sup> freisetzen
- **Weniger Konserven**  
1.000 %iger Anstieg der Bisphenol A-Werte (BPA) im Urin nach 5 Tagen täglicher Dosennahrung
- **HEPA-Filter** können bis zu 99,9% der Luftpartikel bis zu 0,3 µm ø abhalten

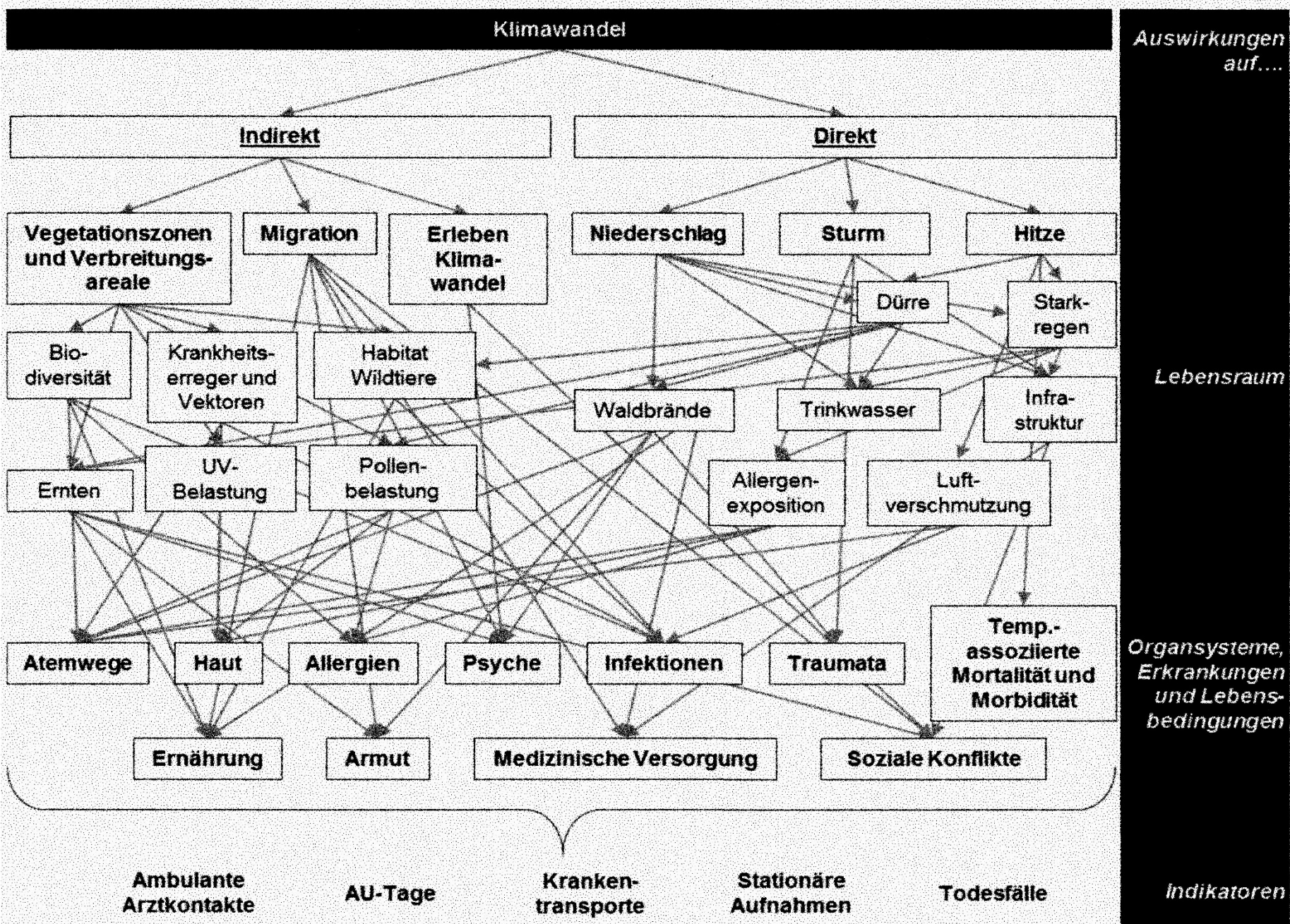
(Fabiano N et al. Brain Medicine 2025. <https://doi.org/10.61373/bm025c.0020>)

# Strategien zur Reduktion von MNP (II)

- Mikrowellen-Erwärmung von Speisen in Plastikgefäßen produziert MNP von 4,22 Millionen bis 2,11 Milliarden MNP-Partikel/cm<sup>2</sup> in 3 Minuten. Empfohlen werden Metall oder Glasbehälter
- Lagerung bei Zimmertemperatur oder im Kühlschrank führt zur Freisetzung von toxischen Plastiksubstanzen, die im Experiment 77% von humanen Nierenzellen zerstörten
- Es gibt zurzeit keine Studie, die zeigen konnte, wie der Mensch MNP wieder abgibt. Allerdings gibt es Hinweise, dass durch Schwitzen Bisphenol A (BPA) ausgeschieden wird
- Da es keine Abhängigkeit von MNP und Alter gibt, wird angenommen, dass der Körper MNP über Urin, Stuhlgang und Schwitzen ausscheidet
- Bei Fischen wurde nachgewiesen, dass nach etwa 70 Tagen 75 % von Gehirn-MNP ausgeschieden wurden

(Fabiano N et al. Brain Medicine 2025. <https://doi.org/10.61373/bm025c.0020>)

# Sachverständigenrat, Gutachten 2023, Resilienz im Gesundheitswesen



Hans Schweisfurth

# KLIMAWANDEL UND KRANKHEIT

*Pulmologisches Forschungsinstitut  
- Institute for Pulmonary Research  
(IPR) -  
Direktor: Prof. Dr. Hans Schweisfurth*



*E-Mail: [pulfin@t-online.de](mailto:pulfin@t-online.de)*

*<http://www.hans-schweisfurth.de/33201.html>*

**Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit**