DAV/DGVFM
Herbsttagung
2022

Klimakrise und Gesundheit

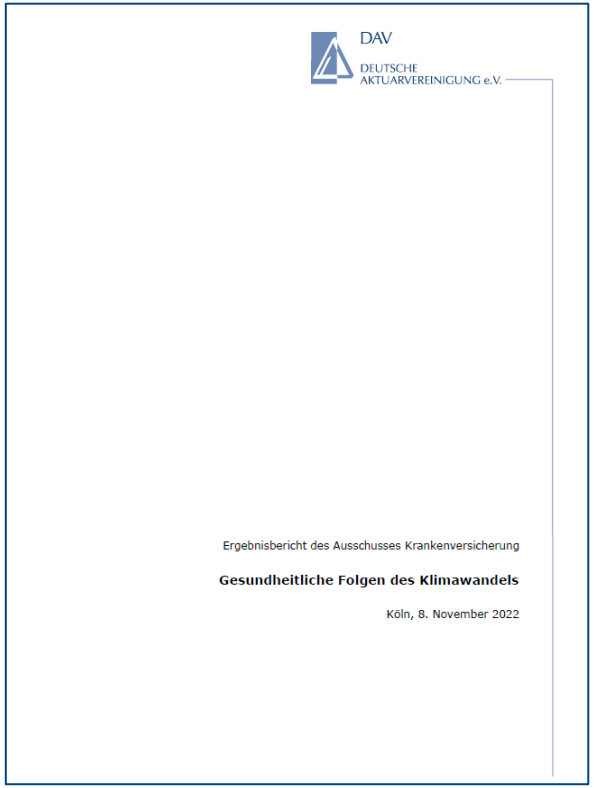
Alexander Krauskopf

DAV
DEUTSCHE AKTUARVEREINIGUNG e.V.

DGVFM
DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR VERSICHERUNGS- UND FINANZMATHEMATIK e.V.

Herbsttagung von DAV und DGVFM, 14./15.11.2022

Ergebnisbericht der DAV


DAV
DEUTSCHE AKTUARVEREINIGUNG e.V.

Ergebnisbericht des Ausschusses Krankenversicherung

Gesundheitliche Folgen des Klimawandels

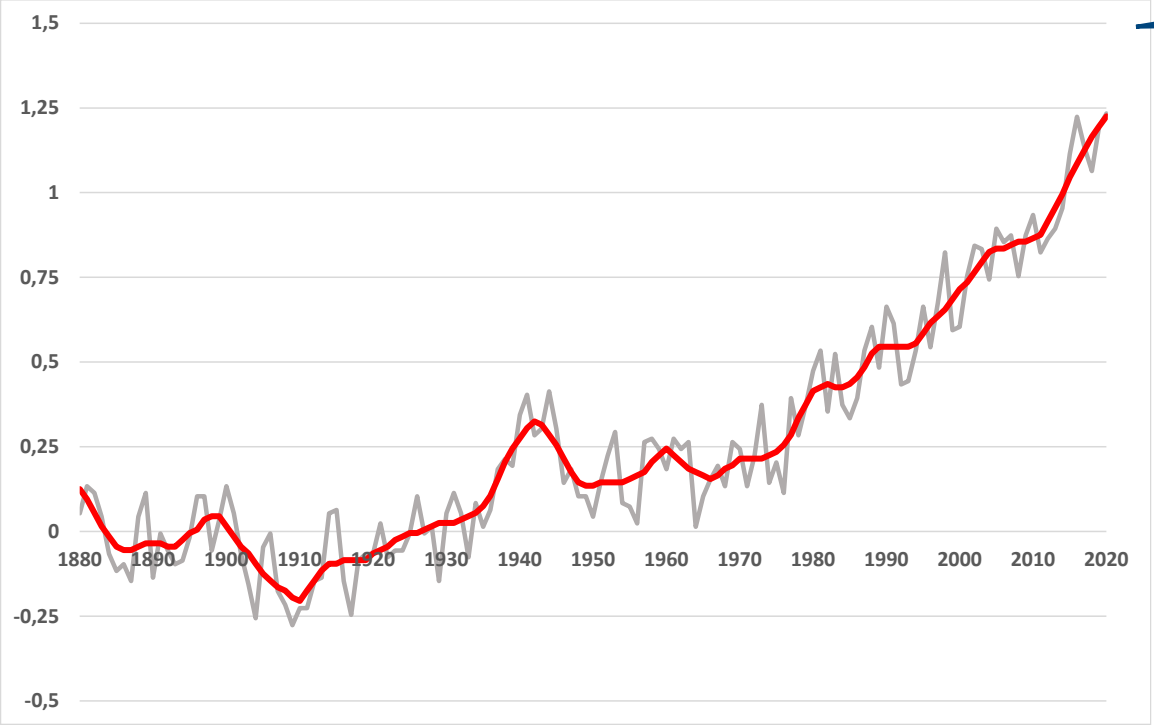
Köln, 8. November 2022

veröffentlicht am 08.11.2022 unter:

https://aktuar.de/unsere-themen/fachgrundsaetze-oeffentlich/2022-11-08_DAV-Ergebnisbericht_Klimawandel_Gesundheit.pdf

Allgemeine Auswirkungen des Klimawandels

IPCC AR6: Globale Temperaturentwicklung seit 1880



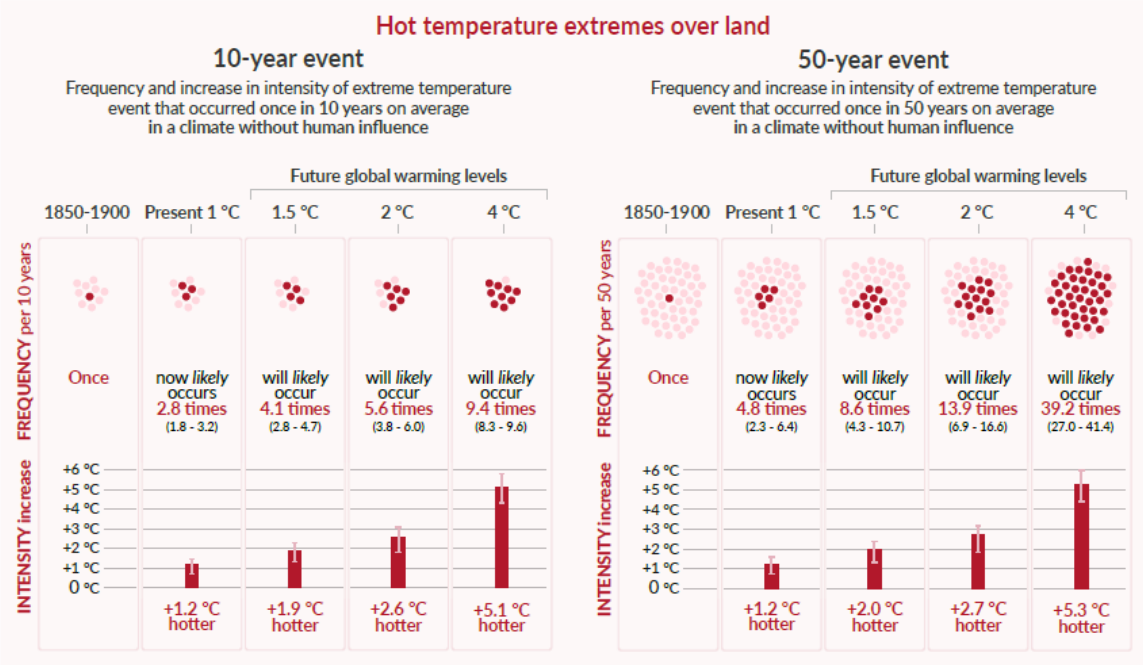
source: IPCC AR6

+1.5°C-Ziel des Pariser Klimaabkommens aus dem Jahr 2015

- **Globale Erwärmung aktuell +1,2° C** (im Vergleich zur vorindustriellen Zeit 1880-1900)
- 1,1° C davon sind auf menschliche Treibhausgas-Emissionen zurückzuführen (IPCC AR6)

Allgemeine Auswirkungen des Klimawandels

IPCC AR6: Ausblick auf zukünftige Entwicklung

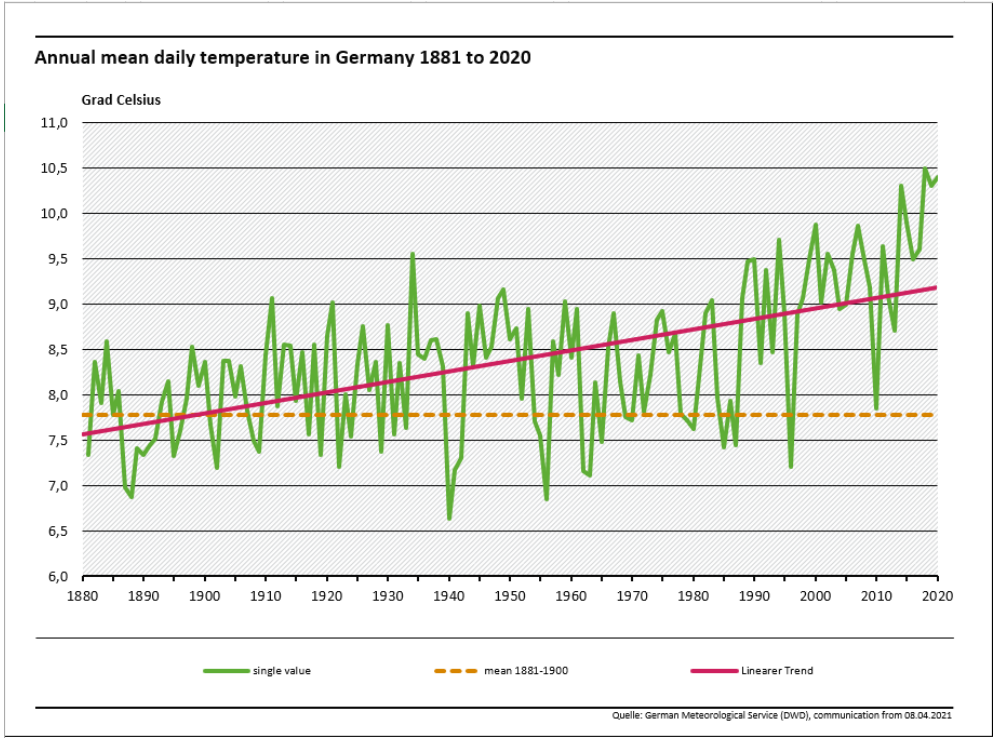


source: IPCC AR6

- Häufigkeit und Intensität von Hitzeextremen und Hitzewellen werden in allen IPCC-Szenarien aufgrund der globalen Erwärmung in fast allen Regionen weiter zunehmen
- Die Veränderung der Intensität von Hitzeextremen ist proportional zur Veränderung der globalen Erwärmung
- Die Temperaturen an den heißesten Tagen werden überproportional zur globalen Erwärmung ansteigen

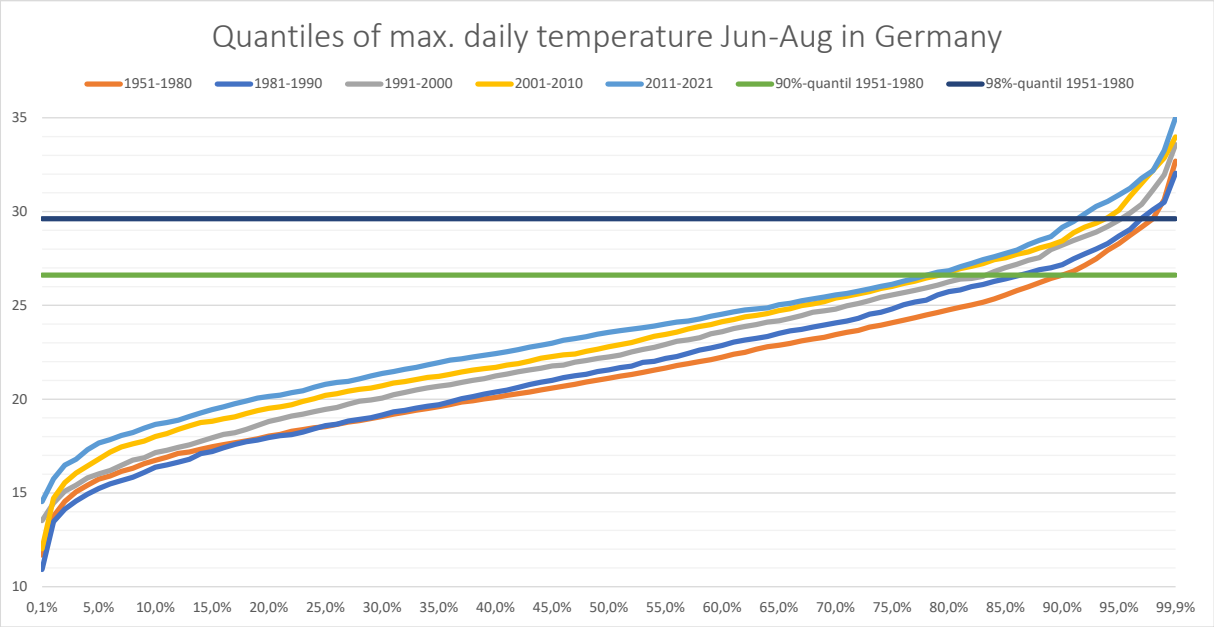
Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland

Temperaturentwicklung in Deutschland



- die sechs wärmsten Jahre seit 1880 liegen direkt hintereinander
- In Deutschland war 2020 mit 10,4° C das zweitwärmste Jahr seit 1881
- 2,6° C wärmer als der historische Vergleichszeitraum 1881-1900
- Die sieben wärmsten Jahre seit 1881 liegen im 21. Jahrhundert

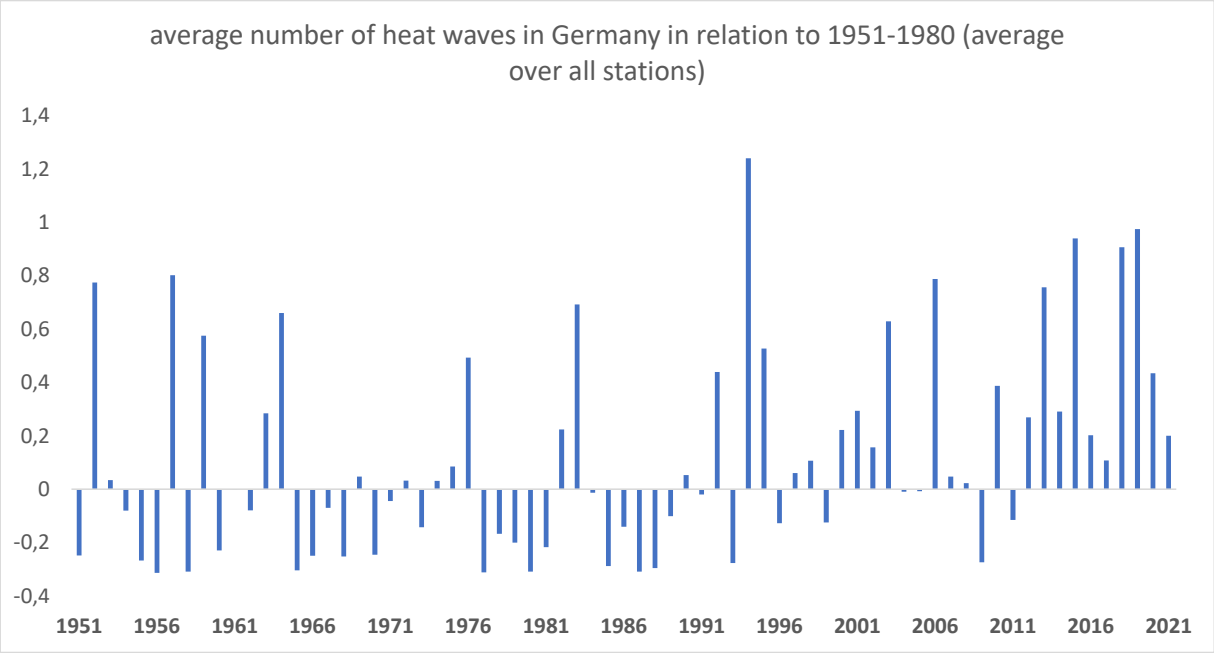
Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland



source: EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D)

- Daten: Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum Juni - August an 1.051 Wetterstationen in Deutschland
- Basislinie ist der Zeitraum 1951-1980 (**orangefarbene Linie**)
- Vergleich der Quantile - Temperatur zwischen der Basislinie und späteren Zeitintervallen
- Offensichtlich ist die Temperatur kontinuierlich gestiegen
- **90%-Quantil in 1951-1980 ist jetzt das ~77%-Quantil / 98%-Quantil in 1951-1980 ist jetzt das ~92%-Quantil**

Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland



source: EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D)

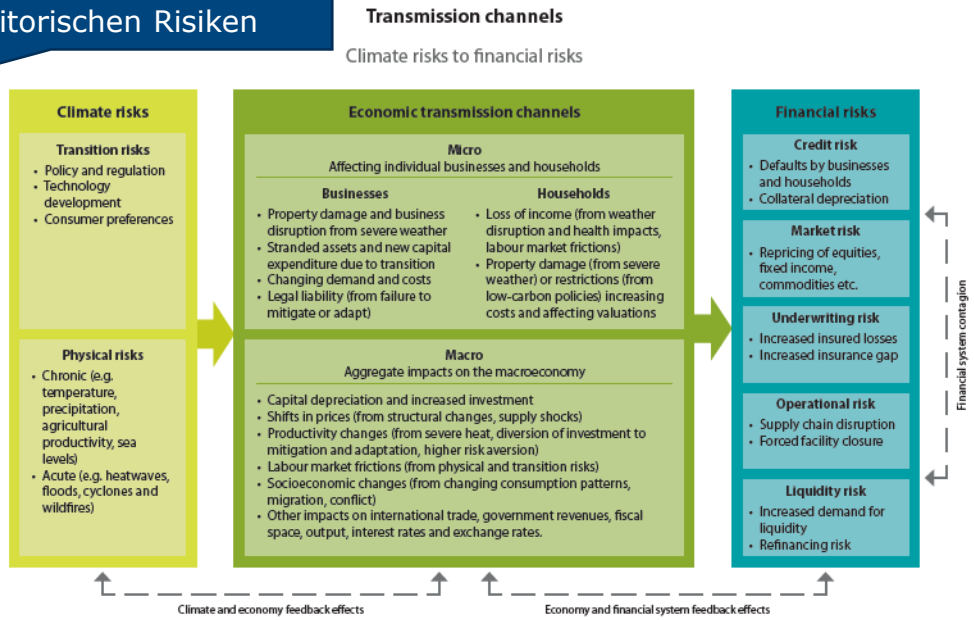
Daten: Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum Juni – August an 1.051 Wetterstationen in Deutschland

- Definition einer Hitzewelle in dieser Analyse: 3 aufeinander-folgende Tage über 30° C
- Hitzewellen werden an jeder Station in jedem Jahr gezählt KPI: Mittelwert der Hitzewellen über alle Stationen
- Es wird die Differenz zur durchschnittlichen Anzahl im Zeitintervall 1951-1980 gezeigt
- Bis in die 1990er Jahre wurden nur einzelne Jahre mit signifikanten Hitzewellen beobachtet
- **In fast jedem Jahr seit dem Jahr 2000 war die durchschnittliche Anzahl der Hitzewellen höher als der Referenzwert**

Klimarisiken betreffen auch die Krankenversicherung

durch die Kapitaldeckung in der PKV entstehen transitorischen Risiken

- **Transition risks**
  - allgemeine / medizinische Inflation
    → Auswirkung auf die Kopfschäden
  - Kapitalmarkt
    → Auswirkung auf AUZ / Rechnungszins
  - allgemeine wirtschaftliche Lage
    → Profitabilität / Überschüsse
    → finanzielle Möglichkeiten der (potentiellen) VN
- **Physical risks**
  - Zunahme von akuten Erkrankungen ausgelöst durch Extremereignisse
    → v. a. Auswirkungen auf Überschüsse
  - Zunahme von chronischen Erkrankungen
    → Auswirkung auf medizinische Inflation / Kopfschäden



Gesundheitliche Folgen durch den Klimawandel

- direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit (aufgrund von Wetterextremen wie Hitzeextremen/Hitzewellen, Überschwemmungen):

  - physische Auswirkungen wie Infektionen, Verletzungen, Todesfälle
  - psychische Auswirkungen wie Stress, Angst, Depression

- indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit:

  - Zunahme von durch Vektoren übertragenen Krankheiten (z. B. Mücken),
  - neues oder verstärktes Auftreten von biologischen Allergenen (z. B. Pollen),
  - Luftverschmutzung,
  - Quantität und Qualität von Trinkwasser und Lebensmitteln

Zunahme durch Hitzeextreme gefährdeter Bevölkerungsgruppen

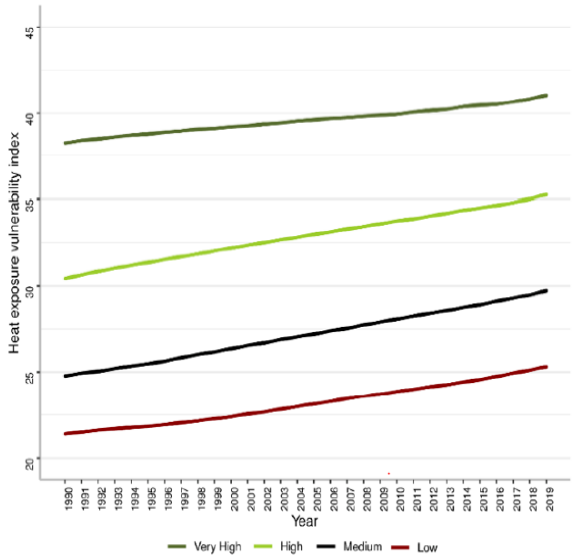


Figure 3. Change in the vulnerability to heat index grouped by 2019 country Human Development Index level for 1990-2019. This index includes the proportion of the population older than 65 years, the prevalence of relevant chronic diseases (respiratory disease, cardiovascular disease, and diabetes) in persons aged over 65 years, and the proportion of the total population living in urban areas

Quelle: Lancet, Lancet Countdown, Annex

- mit zunehmender Wärme- oder Kältebelastung steigen die Anforderungen an das Herz-Kreislaufsystem, den Bewegungsapparat und die Atmung
- Zunahme von Lungen- und Herzkreislauferkrankungen
- durch Hitzestress gefährdete Personen sind insb.
  - Säuglinge und Kleinkinder,
  - ältere Personen und
  - Menschen mit Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, der Atemwege oder Diabetes
- **Problem verstärkt sich zukünftig durch die demografische Entwicklung**
- verringerte Luftqualität bei erhöhten Konzentrationen von Stickoxiden, Ozon und Feinstaub erhöht gesundheitliche Risiken zusätzlich
  → insb. **städtische Bevölkerung** betroffen, da Städte ca. 10°C wärmer sind

Zunahme durch Hitzeextreme gefährdeter Bevölkerungsgruppen

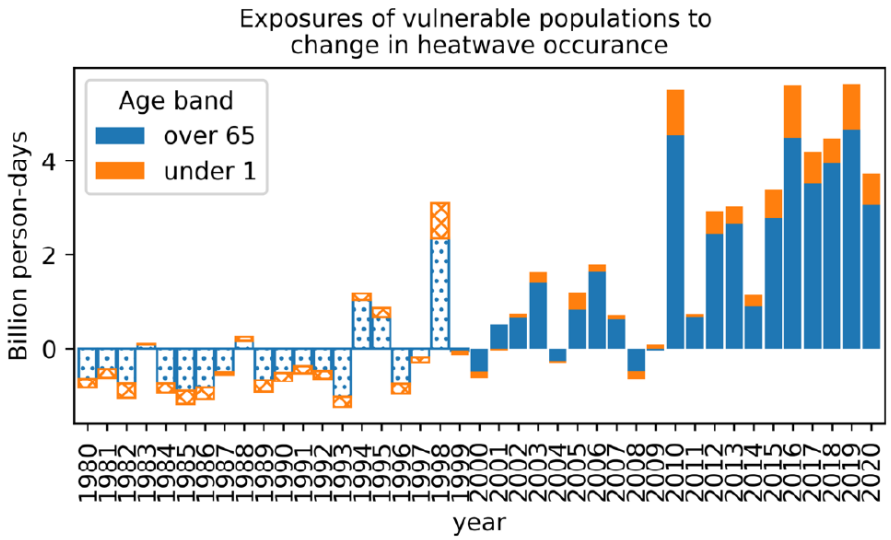


Figure 5. Exposure of people over 65 and infants under 1 year old to change in number of heatwave days relative to the 1986-2005 baseline mean number of days. Hatched bars indicate calculations using population data from ISIMIP for 1980-2000. Block shaded bars indicate calculations using GPWv4 for 2000-2020.

Quelle: Lancet, Lancet Countdown, Annex

- **Unterschied zwischen Hitzeextrema und Hitzewellen**
- **Hitzewelle:** Gesundheitliche Auswirkungen aufgrund extremer Hitze und mangelnder Erholung durch Abkühlung
- 3,1 Milliarden zusätzliche Personentage weltweit bei Hitzewellen im Jahr 2020 im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1986-2005 für Erwachsene über 65 Jahre (entspricht 4,1 Tagen pro Person über 65 Jahre)
- 626 Millionen zusätzliche Personentage weltweit bei Hitzewellen im Jahr 2020 im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1986-2005 für Kinder unter 1 Jahr (entspricht 4,6 Tagen pro Person unter 1 Jahr)
- auch in Deutschland starke Zunahme von Hitzewellen in den letzten Jahren

→ Auswirkungen auf Sterblichkeit und Morbidität

Sterblichkeit aufgrund extremer Hitze

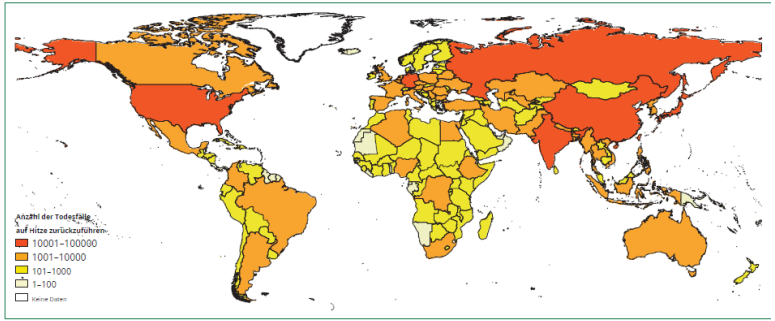
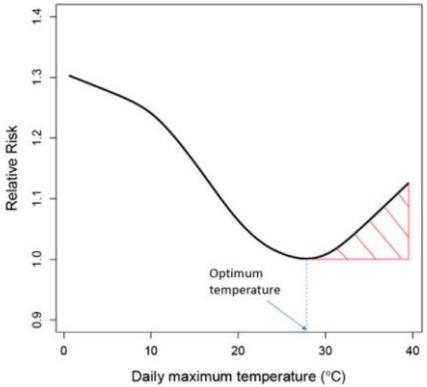


Abbildung 5: Hitzebedingte Todesfälle von Menschen über 65 Jahren in jedem Land im Jahr 2019

source: Lancet, Lancet Countdown, Annex



source: Heat-related mortality risk model for climate change impact projection

- extreme Hitzeereignisse erhöht das Sterblichkeitsrisiko durch Herz-Kreislauf-, Atemwegs- und zerebrovaskuläre Erkrankungen
- hitzebedingte Sterblichkeit bei Menschen über 65 Jahre hat seit dem Jahr 2000 stetig zugenommen
- **in 2019 weltweit 345.000 Todesfälle, 80,6% mehr als Ø 2000-2005**
- Rückgang in der EU in 2019, trotzdem mit 108.000 Hitzetoten weltweit am stärksten betroffen
- Modell zur Ermittlung der hitze-bedingten Übersterblichkeit an einem Tag E:

$$\mathbf{E = y_0 \cdot Pop \cdot AF}$$

y_0 = tägliche Sterberate

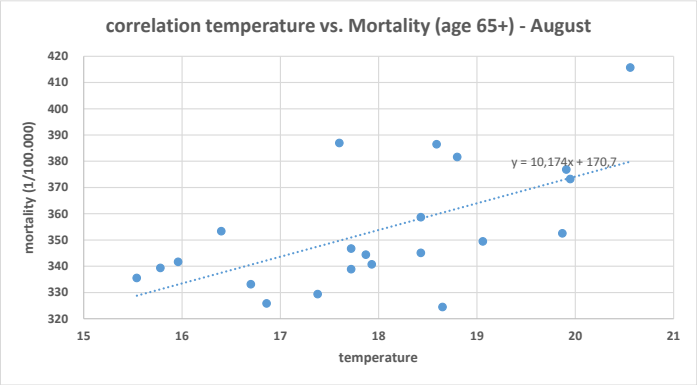
Pop = Bevölkerungszahl

AF = zugeordneter Anteil hitze-bedingter Todesfälle

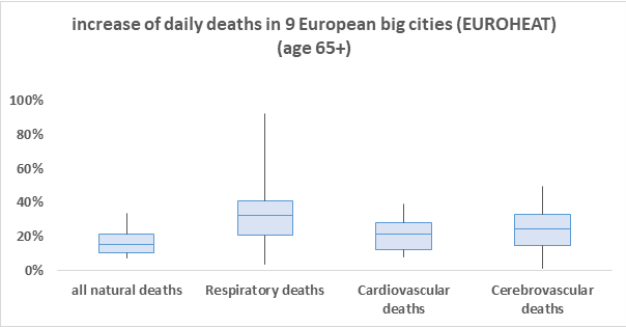
$$\mathbf{AF} = \frac{\boldsymbol{RR - 1}}{\boldsymbol{RR}} = \mathbf{1} - \boldsymbol{e^{-\beta \cdot (t - OT)}} \quad \text{mit} \quad RR = e^{\beta \cdot (t - OT)}$$

RR = relatives Risiko, das den Anstieg des Sterblichkeitsrisikos durch Temperaturanstieg ggü. der optimalen Temperatur OT beschreibt

Sterblichkeit aufgrund extremer Hitze



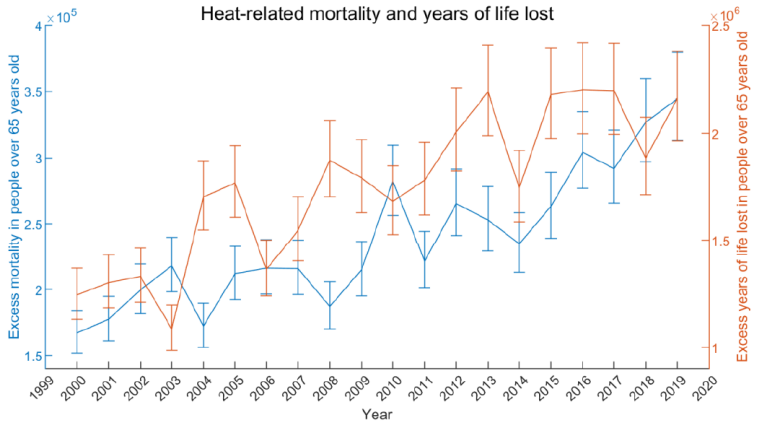
source: gbe-bund.de



source: The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project, 2010

- Verschiedene Analysen zeigen eine **positive Korrelation zwischen Hitze und Sterblichkeitsraten**
- in Deutschland analysierten RKI und Charité hitzebedingte Todesfälle von 2001 bis 2015 und fanden signifikant höhere Sterblichkeitsraten in Jahren mit Hitzewellen (2003: 7.600, 2006: 6.200, 2015: 6.100, 2010: 3.700)
- Die Zahl der hitzebedingten Todesfälle steigt ab einer wöchentlichen Durchschnittstemperatur von 23° C exponentiell an, insbesondere bei Menschen über 75 Jahren
- Hitzebedingte Todesursachen:
  Herz-Kreislauf Erkrankungen
  Nierenversagen
  Atemwegserkrankungen
  Schlaganfälle
- Das gleiche Ergebnis zeigt das EuroHEAT-Projekt, das die extreme Welle im Jahr 2003 analysiert hat

Diskussion: Harvesting effect



source: Lancet, Lancet Countdown, Annex

- Aktuelle Diskussion über die Auswirkung hitzebedingter Todesfälle auf die jährliche Sterblichkeitsrate:
  a) Die hitzebedingten Todesfälle sind nur Todesfälle von Menschen, die ohnehin in Kürze gestorben wären ("harvesting")
  b) Die hitzebedingten Todesfälle sind deutlich früher gestorben als erwartet.
- Die Betrachtung der verlorenen Lebensjahre (YLL) spricht gegen die "harvesting"-These:

Years of life lost (YLL)**:**

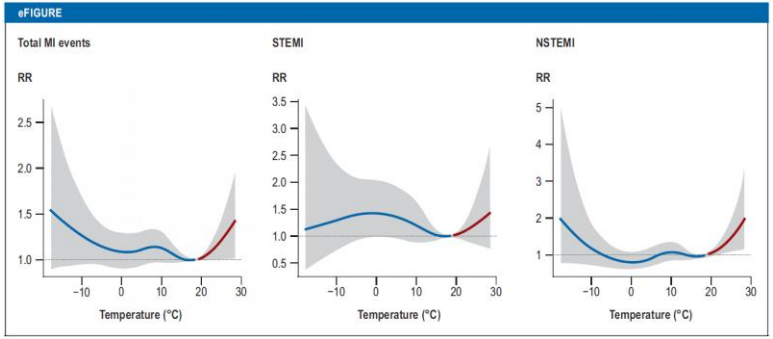
$$\mathbf{YLL} = \sum_{m=65}^{100+} E_m \cdot LE_m$$

E_m = heat-related excess mortality in old age m

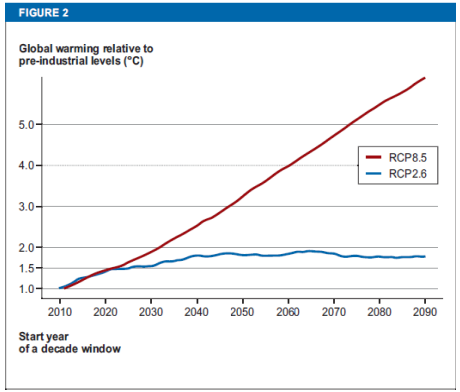
LE_m = normal life expectancy in old age m

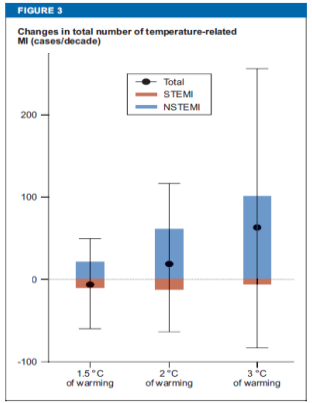
- Internationale Studien kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen
- Eine Studie aus Deutschland legt nahe, dass es eine Abhängigkeit von der Todesursache gibt („harvesting" bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebspatienten)

Morbidität aufgrund extremer Hitze – Herz-/Kreislauf



Cumulative exposure–response functions between air temperature and myocardial infarction (with 95% confidence intervals) in Augsburg, Germany in the period 2001 to 2014. The exposure–response functions were obtained from Chen et al. (2019) (15). The red lines represent the effect of heat (temperature above 18.4 °C), while the blue lines show the effect of cold (temperature below 18.4 °C).



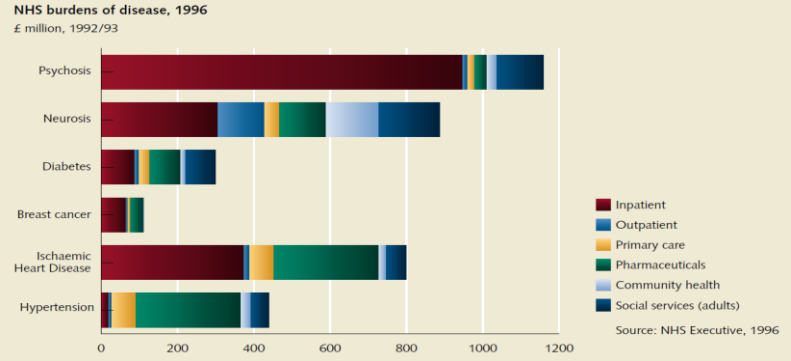


Quelle: Projection of Temperature-Related Myocardial Infarction in Augsburg, Germany

- Studie über Myokardinfarkte (MI) in Augsburg im Zeitraum 2001-2014
- Korrelation zwischen der täglichen Durchschnittstemperatur und der täglichen Anzahl von Herzinfarkten mittels Zeitreihenanalyse (distributed lag non-linear model, DLNM)
- exposure-response-function (ERF) U-förmig (optimale Temperatur 18,4° C)
- Temperaturprojektion für zwei verschiedene Klimaszenarien - RCP2.6 globale Erwärmung unter 2° C - RCP8.5 globale Erwärmung über 3° C
- Simulation von MI-Fällen mit ERF ceteris paribus (insbesondere keine Änderung der Bevölkerungsstruktur und keine Anpassung)
- Bei einer Erwärmung von 1,5° C werden der Anstieg der hitzebedingten MI-Fälle und der Rückgang der kältebedingten MI-Fälle saldiert
- Bei einer Erwärmung über 2° C dominiert der Anstieg der hitzebedingten MI-Fälle
- Die demografische Entwicklung wird die Situation allerdings verschärfen

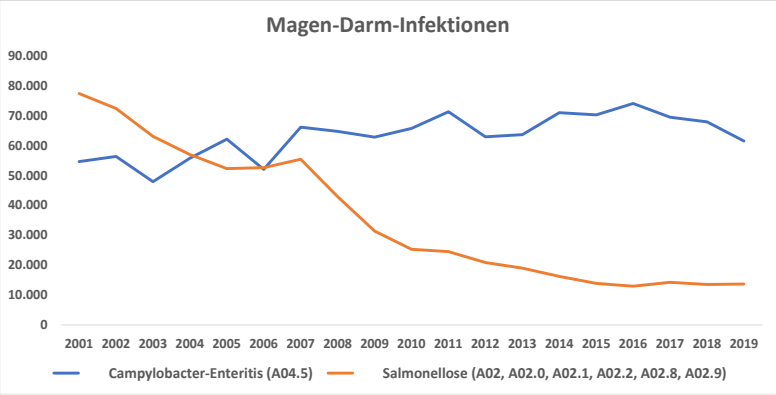
Morbidität aufgrund extremer Hitze – psychische Erkrankungen

source: Lancet, Lancet Countdown, Annex

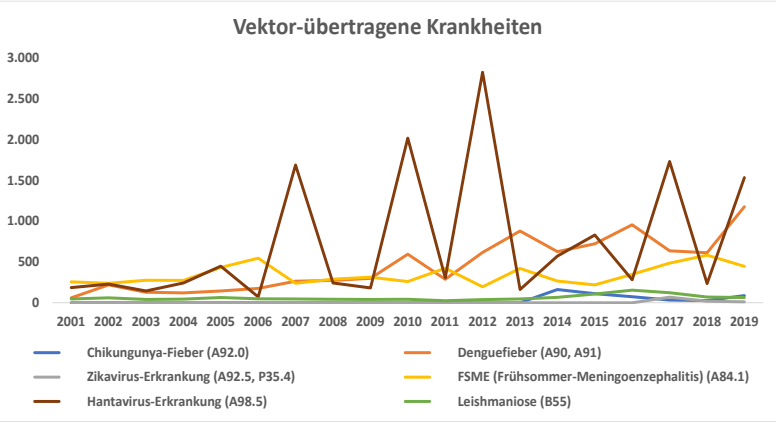


- Studien über den Zusammenhang zwischen Klimawandel und psychischer Gesundheit gibt es erst seit ein paar Jahren
- Es wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen Wetterereignissen (z. B. Temperatur, Niederschlag, Wolkenbedeckung, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit) und psychischer Gesundheit anhand öffentlicher Daten (z. B. Twitter-Tweets oder Google Trend) herzustellen.
- Die Ergebnisse einfacher Regressionsanalysen zeigen, dass das Auftreten von Hitzewellen positive Äußerungen in Twitter-Tweets verringert und negative erhöht
- Es ist zu erwarten, dass ein signifikanter Anstieg der psychischen Erkrankungen zu einem signifikanten Anstieg der Gesundheitskosten führt
- Auswertungen des NHS zeigen, dass die Kosten für psychische Erkrankungen höher sind als für Krebspatienten
- Auch in Deutschland ist der Anteil der Behandlungskosten für psychische Erkrankungen an den Gesamtleistungskosten in den letzten 20 Jahren um 2 % gestiegen
- Ein weiteres Phänomen ist das Auftreten neuer Arten von psychischen Erkrankungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel (z. B. Öko-Angst).

Infektionskrankheiten in Deutschland



- durch Nahrungsmittel oder Wasser übertragene Infektionskrankheiten:
- Magen-Darm-Erkrankungen durch Campylobacter oder Salmonellen in Lebensmitteln
- höhere Temperaturen können den Anstieg der Krankheitsfälle befördern, aber insb. Erkrankungen durch Salmonellen stark rückläufig in den letzten Jahren
- bei Überschwemmungen können Krankheitserreger ins Trinkwasser gelangen → Anstieg der Überschwemmungsgefahr in den nächsten Jahren



durch Vektoren übertragene Infektionskrankheiten:

- Vektor = Überträger von Infektionskrankheiten
- FSME und Lyme-Borreliose → Überträger: Zecken
- Infektionsraten von FSME von verschiedenen Faktoren wie Impfrate, Landnutzung und Freizeitverhalten beeinflusst
- weitere Infektionskrankheiten in Deutschland:
  - Hantavirus → Überträger: Rötelmaus
  - Leishmaniose → Überträger: Sandfliege
  - Denguefieber, Zika-Virus, Chikungunya → Überträger: Aedes albopictus (asiatische Tigermücke)

Quelle: gbe-bund.de

Einfluss des Klimawandel auf Vektor-übertragene Infektionskrankheiten

Dauerhafte Ansiedlung wahrscheinlich

Asiatische Tigermücke hat in Berlin überwintert

Ansteckung mutmaßlich über Mücken

Zehn Infektionen mit West-Nil-Virus in Deutschland erfasst

Die Zahl der West-Nil-Fieber-Fälle ist seit Ende August auf zehn gestiegen – doppelt so viele wie im Vorjahr, meldet das Robert Koch-Institut. Vier Bundesländer sind betroffen.

- Mücken spielen weltweit zentrale Rolle bei der Übertragung von Infektionskrankheiten:
  - Dengue: 96 Mio. Fälle p. a.
  - Zika: ~ 693.000 Fälle p.a.
  - Chikungunya: ~ 500.000 Fälle p.a.
- Klimawandel wird die Ausbreitung von durch Stechmücken übertragene Infektionskrankheiten begünstigen
- höhere Temperaturen
  - verkürzen die Entwicklungszeit von Krankheitserregern in der Mücke (Inkubationszeit)
    → Zeitraum, in dem die Krankheit übertragen werden kann, verlängert sich
  - beschleunigen die Brutzyklen, d. h. die Zahl der Mücken und die Wahrscheinlichkeit der Übertragung von Krankheitserregern steigt
- Saisonalität wichtig, da im Winter Vektoren i. d. R. beseitigt werden
  → wärmere Winter führen zum Überleben der Vektoren und einer Erhöhung des Übertragungszeitraums
- Tigermücke seit 2007 auch in Deutschland beobachtet, weitere Ausbreitung könnte durch Klimawandel begünstigt werden

Einfluss des Klimawandels auf Zunahme von Zoonosen

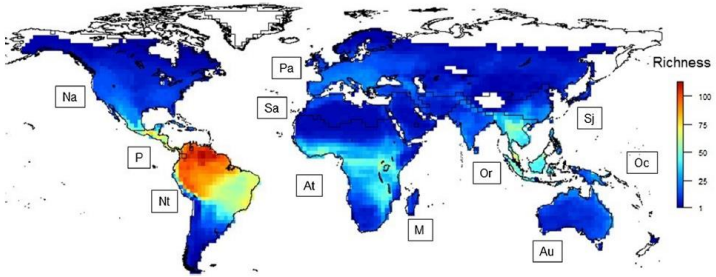
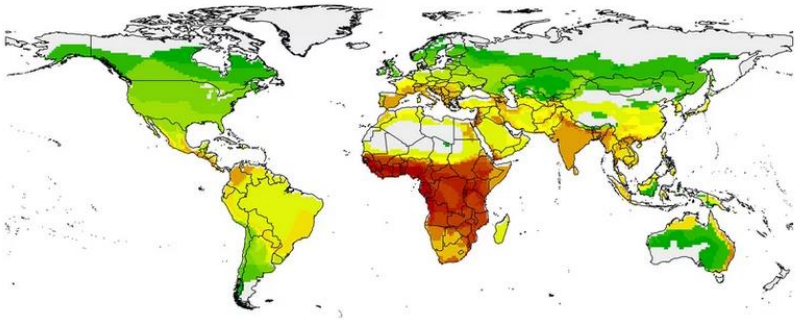


Fig. 1. Global pattern of bat species richness. Legend corresponds to the number of bat species per 2° × 2° grid cell. Letters represent the zoogeographic realms (Holt et al. 2013): Na = Nearctic, P = Panamanian, Nt = Neotropical, Pa = Palearctic, Sa = Saharo-Arabian, At = Afrotropical, M = Madagascan, Or = Oriental, Au = Australian, Sj = Sino-Japanese, Oc = Oceanian.



The map shows hot spots where the risk is highest for bats passing diseases to humans, based on degree of bat-human contact and number of diseases carried by regional bats. Red is superhot. Green is cool. Yellow is in the middle.

Courtesy The American Naturalist

- 60% der weltweit auftretenden **Infektionskrankheiten** (Zoonosen) von **Fledermäusen** übertragen
- ~3.000 verschiedene **Coronavirusarten** von Fledermäusen übertragen (u. a. MERS, SARS-Cov-1 und SARS-Cov-2)
- Übertragung auf Menschen durch Zwischenwirte (Wildkatzen, Marderhunde) auf Wildtiermärkten (u. a. in Wuhan)
- Anzahl der in einer Region auftretenden Coronaviren stark positiv korreliert mit Anzahl der Fledermausarten

Annahme:

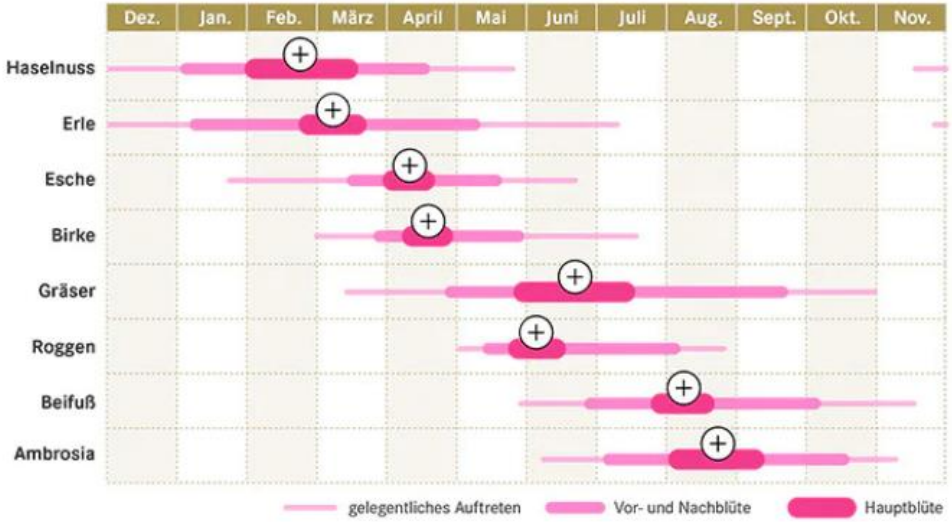
Zunahme der Fledermausarten in einer Region erhöht die Wahrscheinlichkeit für neuartige und für den Menschen schädliche Coronaviren

- Klimawandel mit Einfluss auf Artenreichtum und geografische Verteilung der Arten
- neue Übertragungswege und / oder neue Krankheitsvarianten

Quelle:Geographic variation in the relationship between large-scale environmental determinants and bat species richness

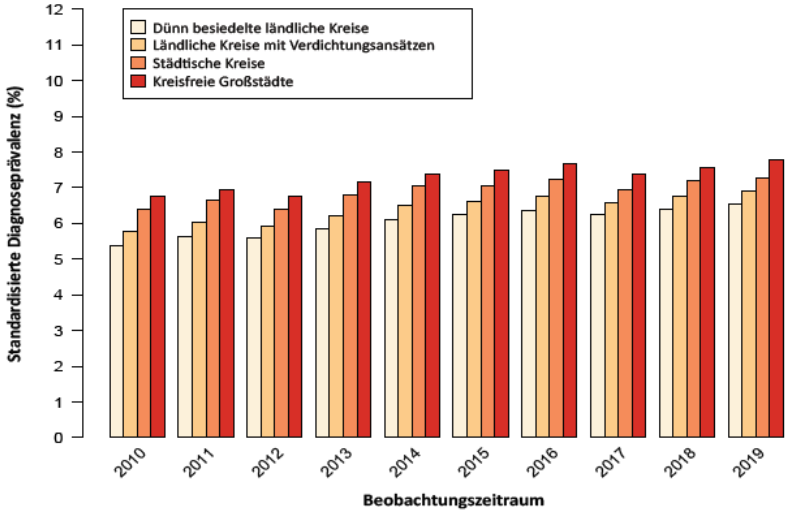
Einfluss des Klimawandels auf Pollen und Allergien

Pollenflugkalender

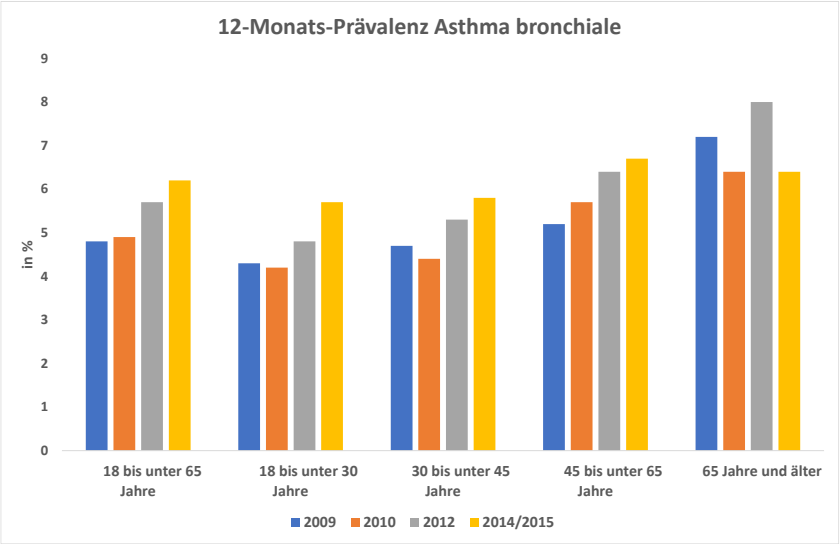


- WHO: 30-40% der Gesamtbevölkerung leiden unter Allergie
- RKI: ~30% in Deutschland leiden unter Allergien, 14,8% unter Heuschnupfen
- Klimawandel führt zu höheren Temperaturen und milderen Wintern → **früherer Beginn der Pollensaison**
- steigende Temperaturen, insb. in Städten, begünstigen die weitere Ausbreitung **invasiver Arten**, z. B. Ambrosia
- Ambrosia verlängert Pollensaison
- CO2-Konzentration, Temperaturanstieg, hohe Ozonwerte und extreme Trockenperioden führen zu verstärkter Pollenproduktion
  → Anstieg der Pollenmenge in den vergangenen Jahrzehnten, v. a. in den Städten
- Menschen in Großstädten leiden stärker unter Allergien (s. Grafik nächste Folie) → Atemwege durch Kombination aus Luftschadstoffen und Pollen stärker angegriffen, aber auch durch andere sozioökonomische Faktoren (z. B. Lebensweise, Ernährungsgewohnheiten)
- **Zunahme von Atemwegserkrankungen wie Asthma bronchiale**

Einfluss des Klimawandels auf Pollen und Allergien



Quelle: versorgungsatlas.de

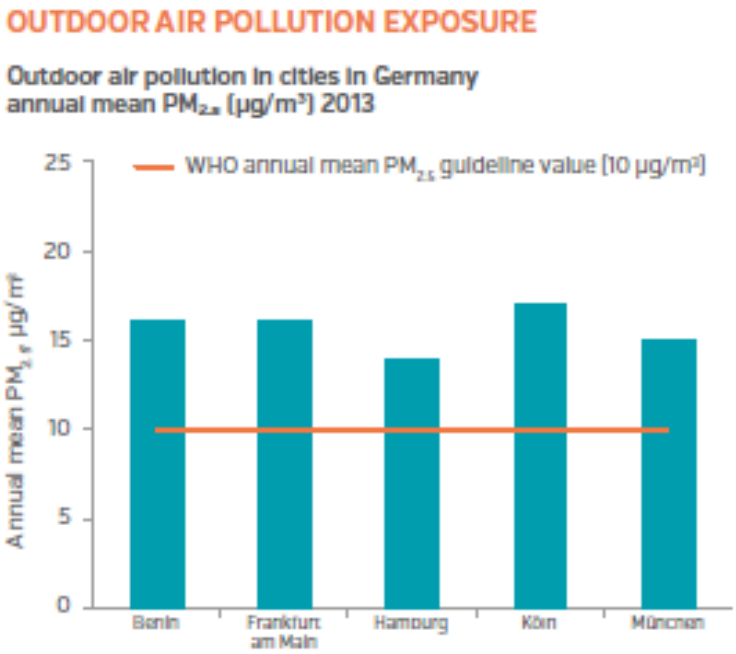


Quelle: gbe-bund.de

- deutlich höherer Anteil an Heuschnupfen in Großstädten als im ländlichen Raum

- stetiger Anstieg von Asthma bronchiale in fast allen Altersgruppen von 2009 bis 2015

Einfluss des Klimawandels auf die Luftverschmutzung

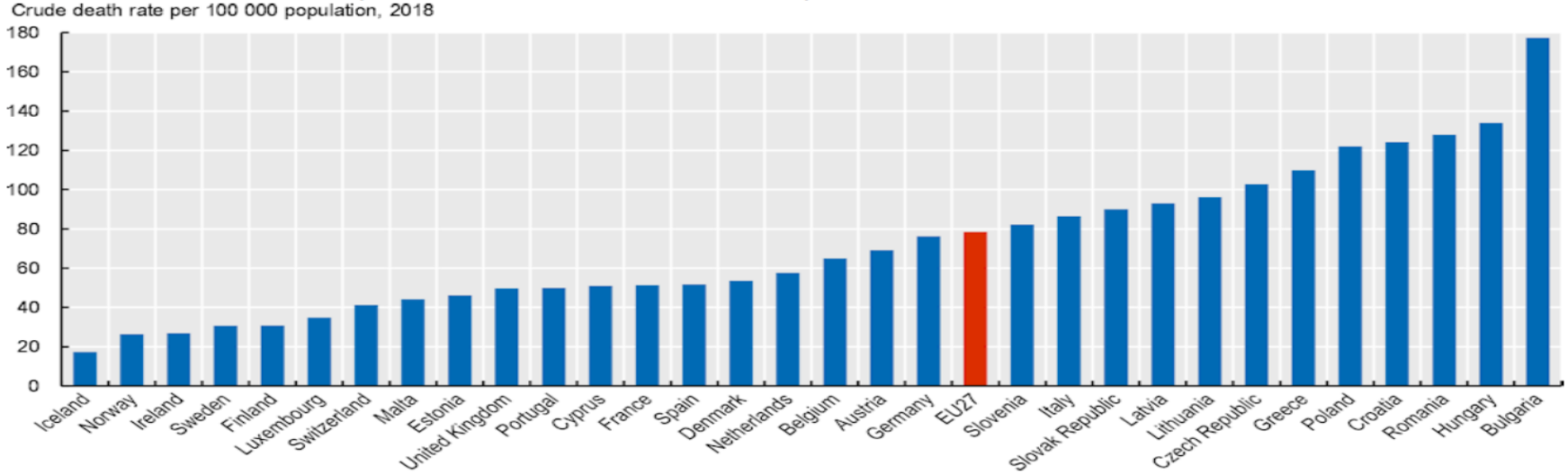


Quelle: WHO

- Luftverschmutzung ist global das größte Gesundheitsrisiko mit 7 Mio. Todesfällen pro Jahr
- Anstieg der Durchschnittstemperatur und trocken-heiße Witterung kann die Bildung von Ozon und die Belastung durch Feinstaub (PM10, PM2.5) fördern
- Luftverunreinigung mit Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid (Auswertung für den Hitzesommer 2003)
- höhere Luftschadstoffbelastung führt zu Herzkreislauferkrankungen → Sterblichkeit durch Herzinfarkte
  Atemwegserkrankungen → Asthma, COPD, Lungenentzündung
- Menschen sind in warmer Jahreszeit vermehrt im Freien und haben höhere Exponierung ggü. Luftschadstoffen

Einfluss des Klimawandels auf die Luftverschmutzung

Figure 2.5. Premature death rates attributable to outdoor air pollution ($PM_{2.5}$) are generally the highest in Central and Eastern Europe, and lowest in Northern Europe



Note: The EU average is weighted.

Source: Based on European Environment Agency (2020[2]), *Air quality in Europe – 2020 report*.

StatLink https://stat.link/yqfurb

Einfluss der UV-Strahlung

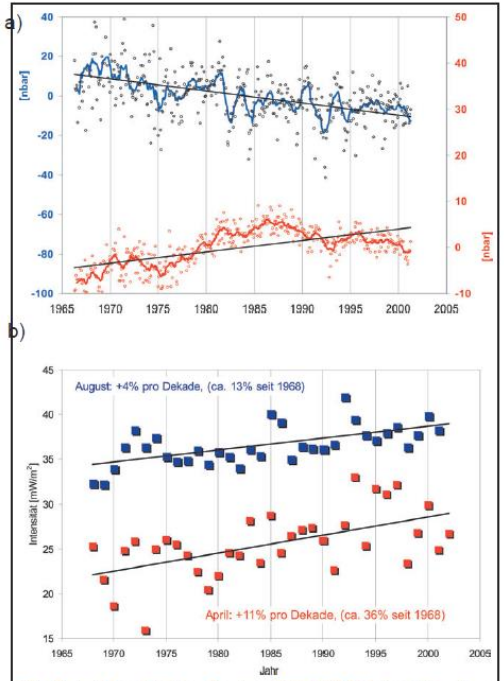
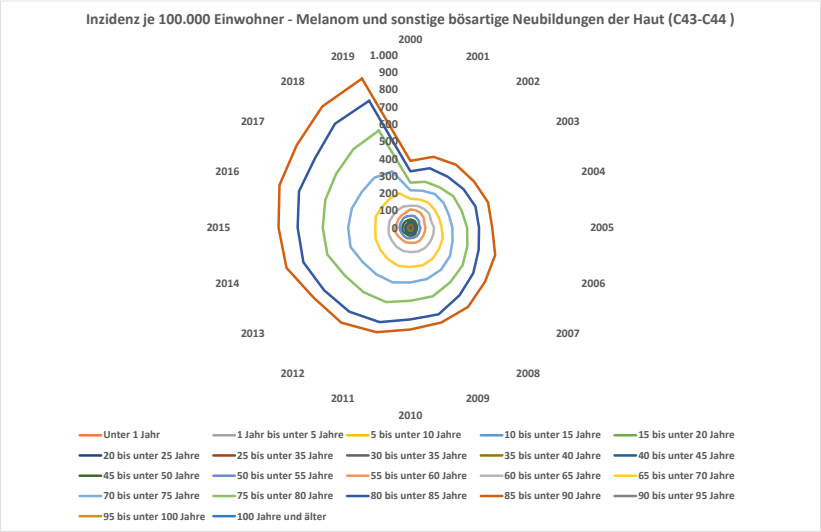


Abb. 6a,b (a) Langfristiger Ozontrend 1967-2002 (Stratosphäre oben, Troposphäre unten) am Meteorologischen Observatorium Hohenpeissenberg und (b) daraus berechnete UV-B Trends (305 nm) für August und April (Staiger und Claude, 2002).

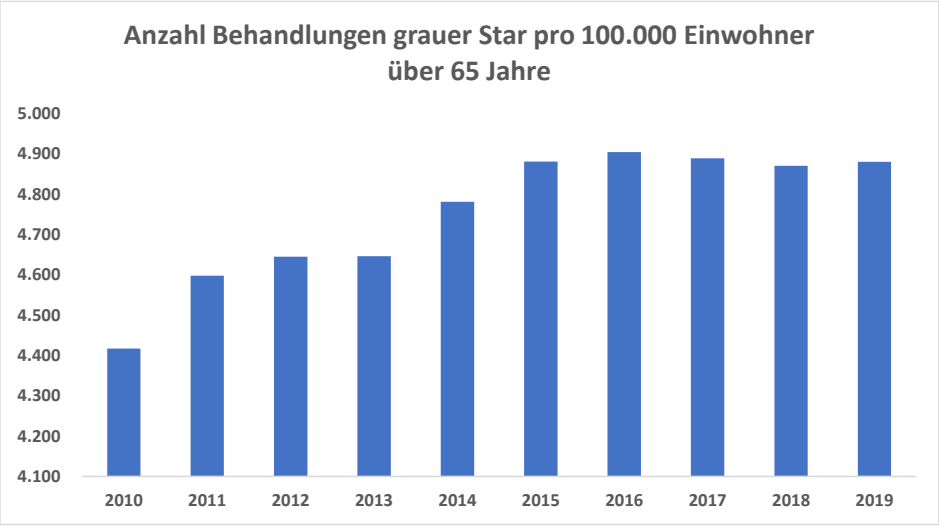
Quelle: Folgen des Klimawandels für die Gesundheit, Gerd Jendritzky, Freiburg

- Die Ozonschicht in einer Höhe von 15 bis 30 km absorbiert 99 % der UV-Strahlung, die auf die Atmosphäre trifft
- Ozonschicht schützt vor Hautkrebs
- Die UV-Strahlung wird durch die stratosphärische Ozonschicht und die Wolkendecke abgeschwächt
- Fluorkohlenwasserstoffe haben die Ozonschicht geschädigt und zu einem Rückgang der Ozonschicht und einem Anstieg der UV-Strahlung geführt (in mittleren Breiten ca. 3 % pro Jahrzehnt, stärker im Frühjahr)
- Montrealer Protokoll (1987) führte zur Verringerung der Emissionen von ozonabbauenden Stoffen
- aber: bei fortschreitender Erderwärmung könnte die erwartete Erholung der Ozonschicht über der Arktis ausbleiben (Studie des Alfred-Wegener-Instituts)
- Höhere Temperaturen in der Zukunft werden das Risiko der Exposition gegenüber UV-Strahlung noch weiter erhöhen

Einfluss der UV-Strahlung



Quelle: gbe-bund.de



Quelle: OECD, eigene Ermittlungen

- Zunahme von Hautkrebs- und Katarakt-Erkrankungen (grauer Star) (neben Verhaltensaspekten aufgrund Zunahme UV-Strahlung)
- Hautkrebs häufigste Krebserkrankung in Deutschland (>200.000 Neuerkrankungen p.a.)
- Simulationen zeigen in den nächsten Jahrzehnten einen weiteren durch den Klimawandel verursachten Anstieg der Hautkrebs- und Katarktfälle

Fragerunde