

Modellierung und Absicherung von Naturgefahren

18. FaRis & DAV Symposium

TH Köln, 08.12.2023

08.12.2023



Programmübersicht

14.00 Uhr	Begrüßung Prof. Dr. Matthias Wolf (TH Köln)
14.10 Uhr	Modellierung von Klimarisiken Prof. Dr. Benedikt Funke (TH Köln)
14.50 Uhr	NatCat Risk Management in Reinsurance Dr. Daniel Bölinger, Senior Corporate Underwriter (Munich Re)
15.30 Uhr	Kaffeepause
16.00 Uhr	Starkregenmodellierung: Keep it simple?! Dr. Christof Mackrodt und Janine Scholtyssek (Privatkunden Aktuariat & SHU Proj., Provinzial Holding AG)
16.45 Uhr	Rain Chaser: Ein geophysikalisches Starkregenmodell Florian Bohl, Leitender Berater (Meyerthole Siems Kohlruss)
anschließend	Get-together

Modellierung von Klimarisiken

Agenda

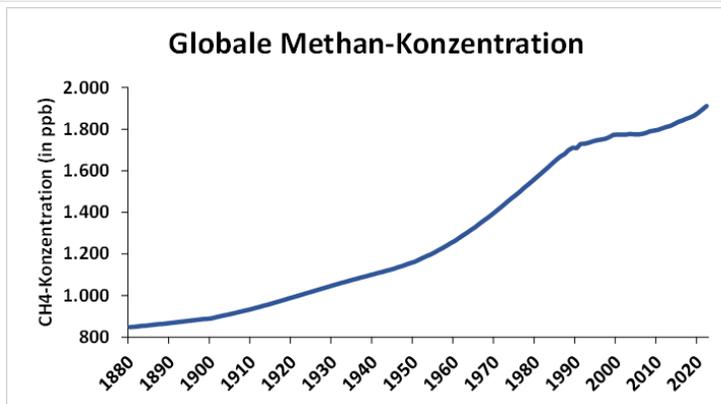
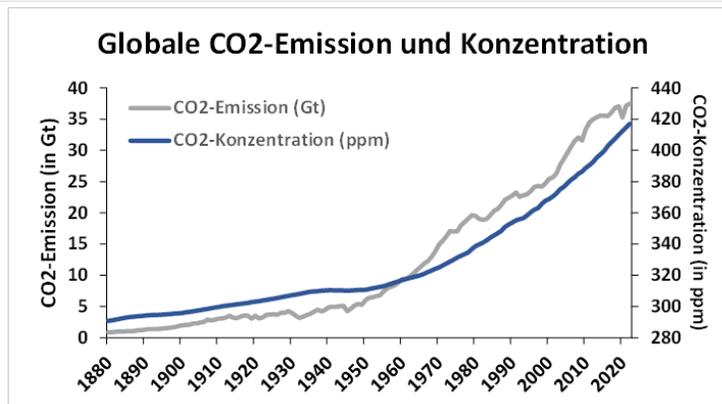
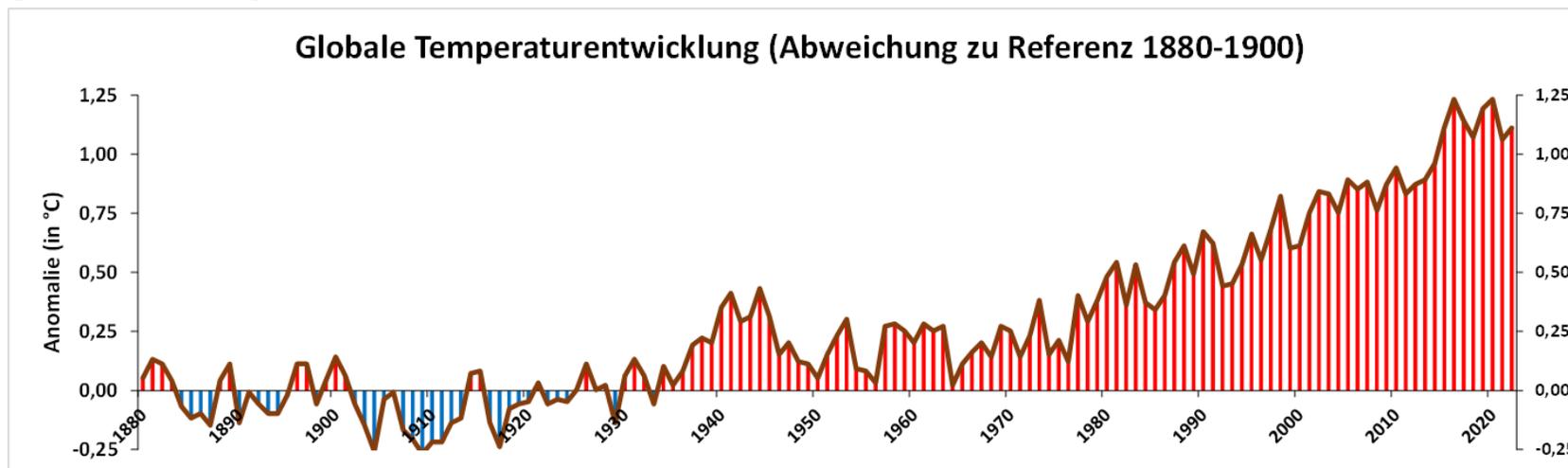
1. Ausgangslage
2. Ein Ansatz zur Integration der Auswirkungen des Klimawandels in stochastische Schadenmodelle
3. Anwendungen des Modells
4. Fazit und Ausblick

DAV-AG Klimawandel – Aktuarielle Implikationen in der Schadenversicherung
(Leitung Prof. Dr. Michael Schüte)

UAG Modelle und Quantifizierung:

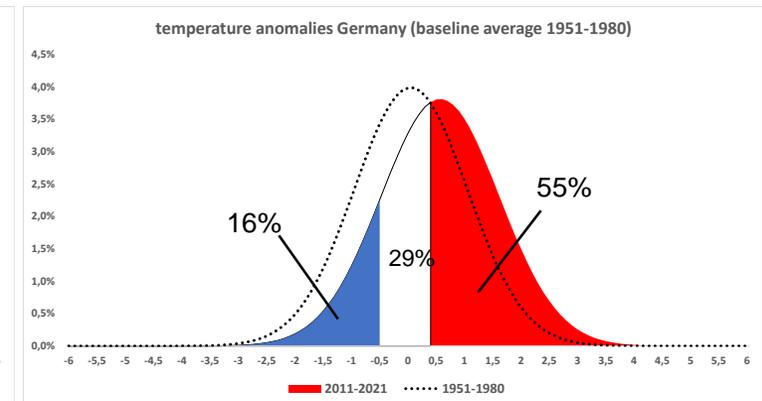
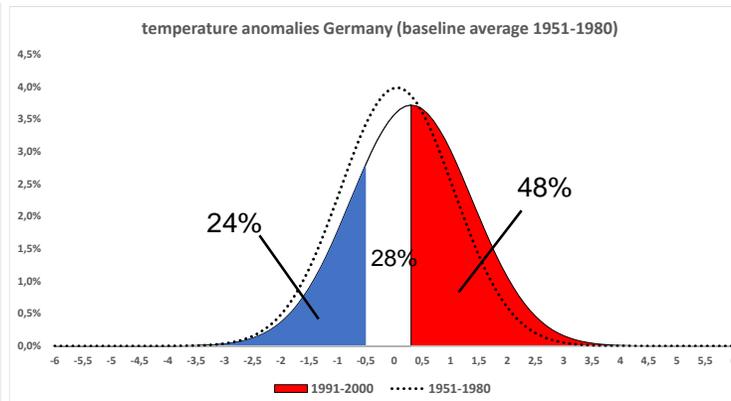
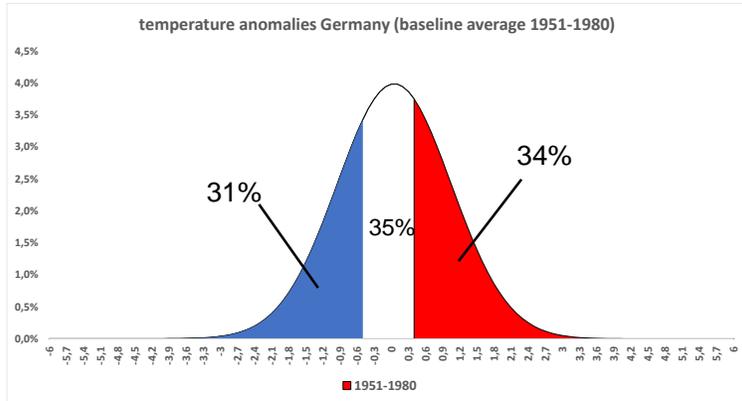
Output: gemeinsame Konzeption des im Folgenden vorgestellten Modells, insb. Prof. Dr. Klaus J. Schröter, Prof. Dr. Benedikt Funke

Ausgangslage – Klimawandel: «Nur» ein langfristiger Trend?



Quelle: [Our World in Data](https://ourworldindata.org/)

Ausgangslage – Klimawandel: «Nur» ein langfristiger Trend?

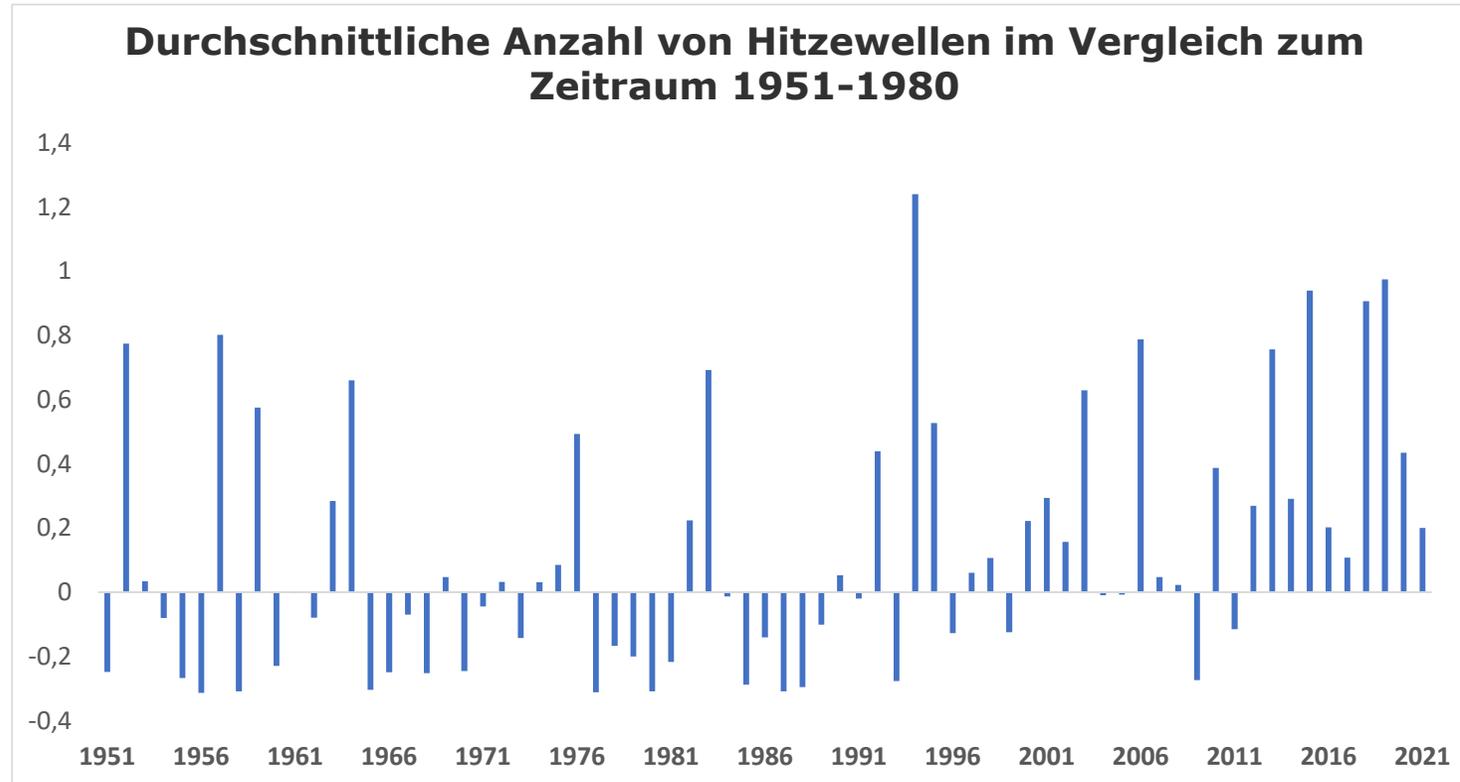


Quelle: EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum Juni – August an 1.051 Wetterstationen in Deutschland

Deutliche Verschiebung der Temperaturverteilung in Deutschland

- Temperaturanomalien in Deutschland bezogen auf den Mittelwert von 1951-1980 (Juni - August) in Relation zur Standardabweichung (annähernd normalverteilt)
- $TA = \frac{X-\mu}{\sigma}$, μ = mittlere Temperatur 1951-1980, σ = Standardabweichung der Temperatur 1951-1980
- Verschiebung der Parameter der Normalverteilung über die Jahre → Mittelwert und Volatilität steigen an
 → Anstieg der Temperaturen von 1951-1980 im Vergleich zu 2011-2021
 → Zunahme der Hitzeextreme gegenüber 1951-1980 (34% vs. 55%)

Ausgangslage – Klimawandel: «Nur» ein langfristiger Trend?

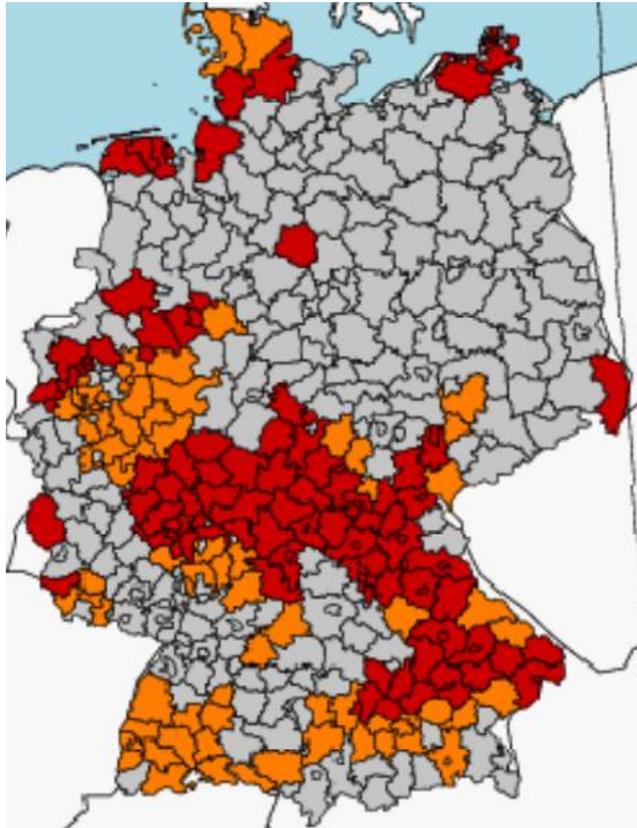


Quelle: EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum Juni – August an 1.051 Wetterstationen in Deutschland

Entwicklung Hitzewellen in Deutschland seit 1950

- Definition einer Hitzewelle in dieser Analyse: 3 aufeinanderfolgende Tage über 30°C
- Hitzewellen werden an jeder Station in jedem Jahr gezählt
 - KPI: Mittelwert der Hitzewellen über alle Stationen
- 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

Ausgangslage – Klimawandel: «Nur» ein langfristiger Trend?



Anzahl der Starkregentage 2036-2065 im Vergleich zur Referenzperiode 1966-1995

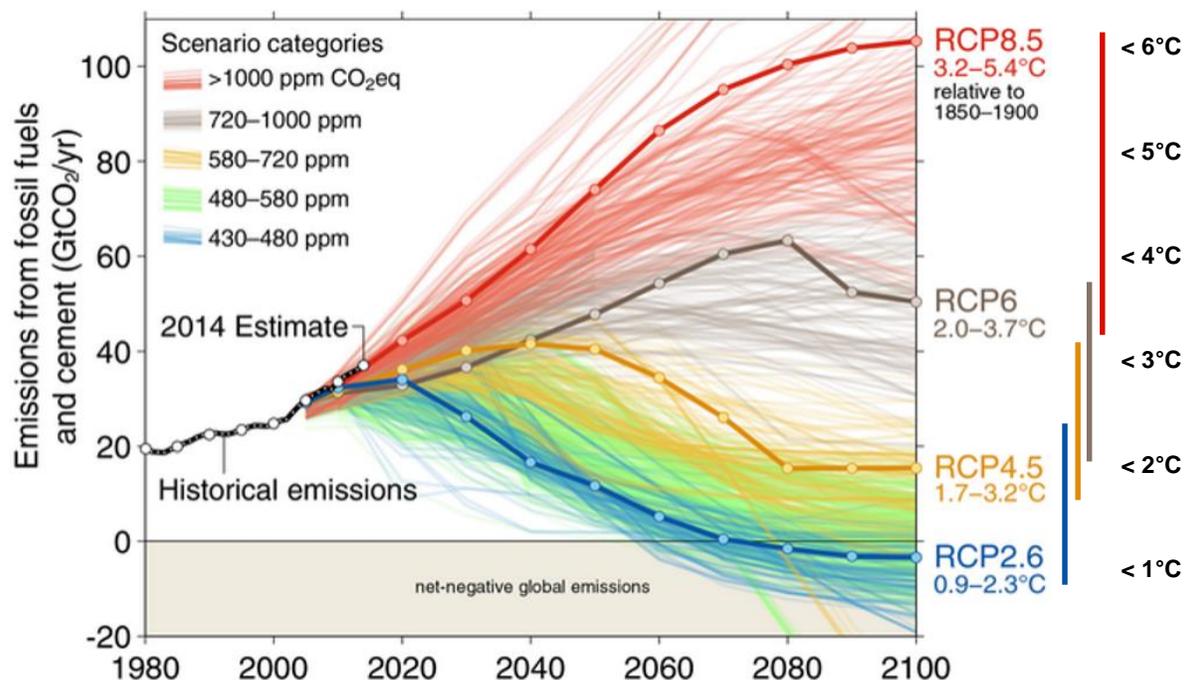
- In der Starkregenstudie wurde die Anzahl der Starkregentage in Deutschland für die Periode 2036-2065 modelliert und mit der Referenzperiode 1966-1995 verglichen
- Das Modell zeigt eine große Anzahl an Regionen, in denen ein signifikanter Anstieg der Starkregentage erwartet wird

■ Vorhersage nicht robust ■ Anstieg von 10% – 30% ■ Anstieg von >30%,

Quelle(n): Climate Service Center Machbarkeitsstudie Abschlussbericht

Ausgangslage – Klimawandel: Mögliche Auswirkungen

Globale Erderwärmungspfade basierend auf verschiedenen IPCC Klimaszenarien



Quelle: Fuss, S., et al, 2014. Betting on Negative Emissions. Nature Climate Change 4, 850-853

Der Klimawandel beeinflusst die Frequenz und Stärke von Wetterextremen

Physische Risiken

Hagel

Sturm

Stark-
regen

Wald-
brände

Hitze-
wellen

Dürren

Transitorische Risiken

Recht-
sprechung

Technologie
Markt

Reputation

... aber auch Chancen

Ressourcen-
effizienz

Energie-
quellen

Produkte
und Services

Märkte

Resilienz

Ausgangslage – Klimawandel: Was bedeutet das für den Berufsalltag einer Aktuarin / eines Aktuars?

- Der Klimawandel erhöht die **Modell- und Parameterunsicherheit**.
- Der Klimawandel ist ein **langfristiger Trend** und spiegelt sich erst allmählich in den Schadenstatistiken wider.
→ **Der Blick in den Rückspiegel ist nicht ausreichend**
- Die Auswirkungen des Klimawandels beziehen sich auf die Bereiche **Tarifierung, Risikomanagement, Reservierung, Rückversicherung**.
- Eine **Vernachlässigung** des **Klimawandels** kann zu falschen Prämieeinschätzungen, fehleranfälligen Reserveprozessen oder unzureichender Rückversicherung führen.

Die Quantifizierung der Auswirkungen von Klimatrends auf die Versicherungstechnik stellt eine große Herausforderung dar!

Klimarisikomodellierung – Kategorisierung verschiedener Ansätze

Ausgangspunkt:

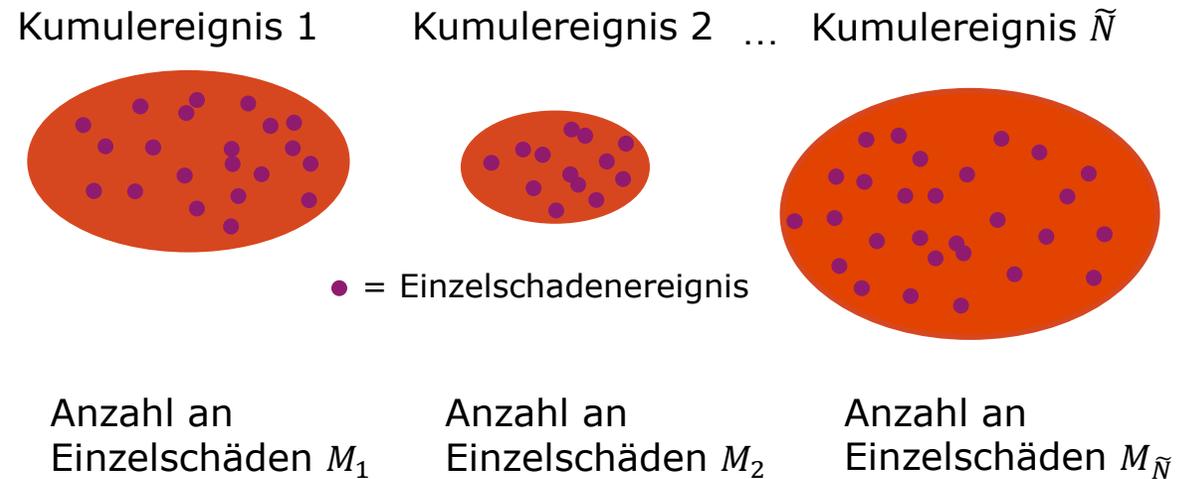
Gesamtschadenmodellierung über das klassische **Kollektive Modell** der Risikotheorie

$$S_1 := \sum_{i=1}^N X_i$$

- N = **Anzahl** der Schäden (in einem festen Kollektiv, i.d.R. innerhalb eines Jahres)
- X_i = Höhe des i -ten **Einzelschadens**, $i = 1, \dots, N$
- N, X_1, X_2, \dots **st. unabhängig**
- X_1, X_2, \dots identisch verteilt: $X_i \sim \mathbb{P}^X$
- **Keine** Zeitabhängigkeit auch bei mehrperiodischen Betrachtungen

Erweiterung:

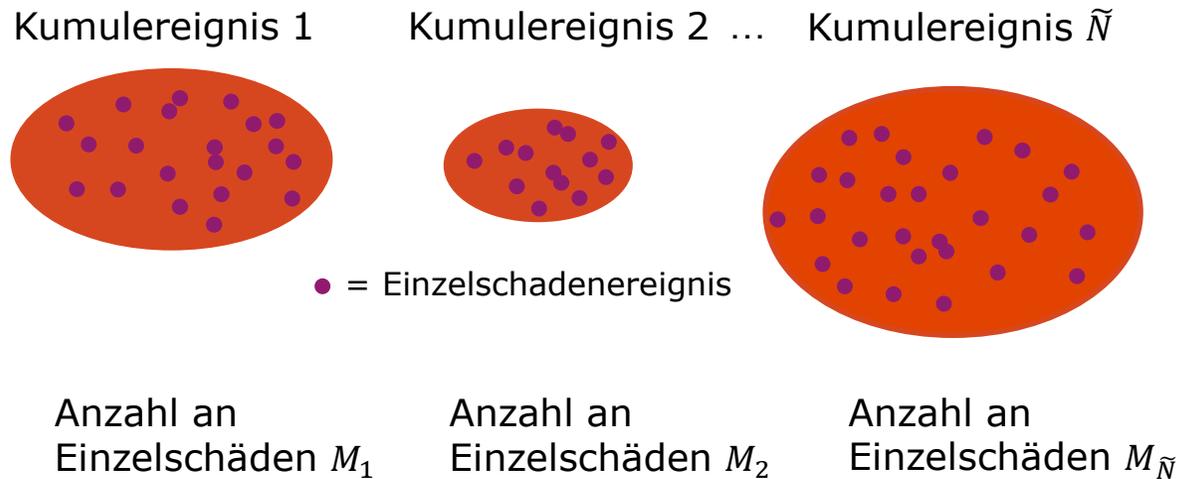
Unterscheidung zwischen **Kumul-** und **Einzelschadenereignissen**



Klimarisikomodellierung – Kategorisierung verschiedener Ansätze

Erweiterung:

Unterscheidung zwischen **Kumul-** und **Einzelschaden**ereignissen



Die **Anzahl der Schäden** N_2 ergibt sich somit als

$$N_2 := \sum_{j=1}^{\tilde{N}} M_j .$$

Für den Gesamtschaden gilt entsprechend

$$S_2 := \sum_{i=1}^{N_2} X_i = \sum_{j=1}^{\tilde{N}} \sum_{i=1}^{M_j} X_{ji}$$

- \tilde{N} = Anzahl der **Kumulereignisse** (bestandsunabhängig)
- M_j = Anzahl an **Einzelschäden** bei dem j -ten Kumulereignis (bezogen auf einen festen **Bestand**)
- X_{ji} = Höhe des i -ten Einzelschadens im j -ten Kumulereignis

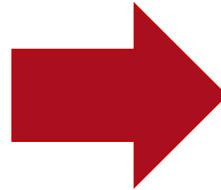
Klimarisikomodellierung – Kategorisierung verschiedener Ansätze

Die **Anzahl der Schäden** N_2 ergibt sich somit als

$$N_2 := \sum_{j=1}^{\tilde{N}} M_j.$$

Für den Gesamtschaden gilt entsprechend

$$S_2 := \sum_{i=1}^{N_2} X_i = \sum_{j=1}^{\tilde{N}} \sum_{i=1}^{M_j} X_{ji}$$



- Bislang **keine Modellierungen** von Veränderungen (insb. relevant für Projektionsrechnungen)
- Bislang **keine Modellierungen** von Klimaeffekten (insb. relevant für die Berechnung von Klimaszenarien)

Ausbaustufe 1 (*T-Modelle*):

Übergang zu **zeitabhängigen** Modellen, um periodenübergreifende Veränderungen zu modellieren

$$S_{2,t} := \sum_{i=1}^{N_{2,t}} X_{t,i} = \sum_{j=1}^{\tilde{N}_t} \sum_{i=1}^{M_{t,j}} X_{t,ji}$$

- Alle Zufallsvariablen **st. unabhängig**
- Einzelschäden aus gleichen Perioden id. verteilt:

$$X_{t,ji} \sim \mathbb{P}^{X_t}$$

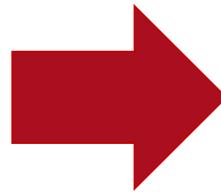
- Aber: Weiterhin **keine Modellierungen** von Klimaeffekten

Klimarisikomodellierung – Kategorisierung verschiedener Ansätze

Ausbaustufe 1 (*T-Modelle*):

Übergang zu zeitabhängigen Modellen, um periodenübergreifende Veränderungen zu modellieren

$$S_{2,t} := \sum_{i=1}^{N_{2,t}} X_{t,i} = \sum_{j=1}^{\tilde{N}_t} \sum_{i=1}^{M_{t,j}} X_{t,ji}$$



- Alle Zufallsvariablen st. unabhängig
- Einzelschäden aus gleichen Perioden id. verteilt:

$$X_{t,ji} \sim \mathbb{P}^{X_t}$$

- Aber: Weiterhin **keine Modellierungen** von Klimaeffekten

Ausbaustufe 2 (*C-Modelle*):

- Statt des deterministischen Zeiteffektes (*T*) wird eine zeitabhängige Zufallsvariable θ_t aufgenommen
- θ_t wird als **Klimawandelindikator** bezeichnet und repräsentiert die Effekte des Klimawandels (auf die Schadenversicherung)
- Idee: θ_t **meteorologische/klimatologische Variable** (Niederschlagshöhen, (\emptyset , max.) Tagestemperaturen, Windgeschwindigkeiten etc.), die in möglichst **signifikantem Zusammenhang** zu den Schadenaufwendungen der versicherten Bestände steht
- Jeder Anwender kann/soll/muss **eigene Vorstellungen** zwecks Auswahl von θ_t einbringen

Klimarisikomodellierung – Kategorisierung verschiedener Ansätze

Vom erweiterten Kollektiven Modell ...

$$S_2 = \sum_{j=1}^{\tilde{N}} \sum_{i=1}^{M_j} X_{ji}$$

$T = 1$ \tilde{N}_1 $M_{1,j}$
 $T = 2$ \tilde{N}_2 $M_{2,j}$
 $T = ..$ $\tilde{N}_{..}$ $M_{..,j}$
 $T = t$ \tilde{N}_t $M_{t,j}$
 $S_{2,t} = \sum_{j=1}^{\tilde{N}_t} \sum_{i=1}^{M_{t,j}} X_{t,ji}$

... zu den C-Modellen (oder allg. **Bayessche Schadenmodelle**)

$T = 1$ \tilde{N}_1 $M_{1,j}$
 $T = 2$ \tilde{N}_2 $M_{2,j}$
 $T = ..$ $\tilde{N}_{..}$ $M_{..,j}$
 $T = t$ \tilde{N}_t $M_{t,j}$
 $S_{3,t} \textcircled{+} \sum_{j=1}^{\tilde{N}_t} \sum_{i=1}^{M_{t,j}} X_{t,ji}$

Klimarisikomodellierung – Probabilistische Modellierung der Modellkomponenten

- Die Operationalisierung des vorgestellten Modellansatzes basiert auf **parametrischen Strukturvorgaben** für die Modellparameter
- Die Validität der einzelnen Annahmen sind **bestandsspezifisch zu prüfen** bzw. zu **hinterfragen**
- Die im Weiteren dargestellten parametrischen Annahmen dienen daher hauptsächlich der **beispielhaften Darstellung**

- **Strukturvorgaben an den Klimawandelindikator Θ_t**

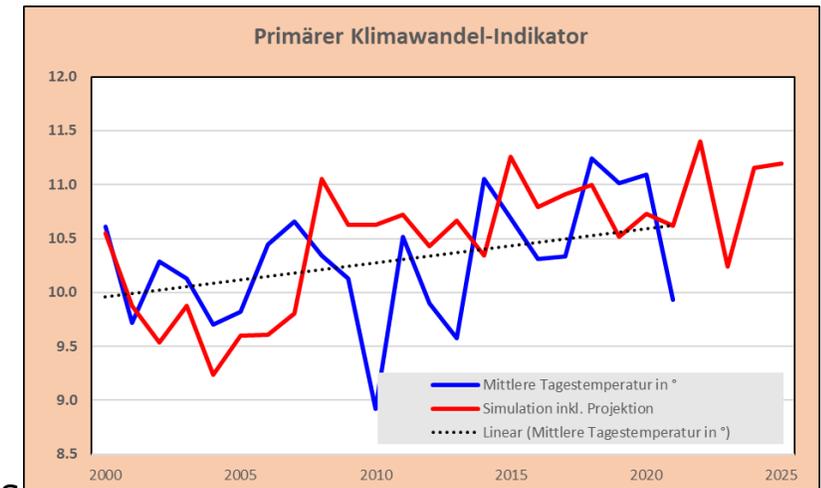
- $\Theta_t - c_t \sim \Gamma(\alpha, \beta_t), \beta_t = \beta_a + t \cdot \beta_b, c_t = c_a + t \cdot c_b$ mit $\alpha, \beta_b, c_b > 0$

- Resultat sind ein **zeitlineares** erstes Moment sowie eine zeitlineare Varianz, die jeweils in t wachsen

- $E[\Theta_t] = c_t + \frac{\beta_t}{\alpha} = c_a + \frac{\beta_a}{\alpha} + t \cdot \left(c_b + \frac{\beta_b}{\alpha} \right) = \mu_a^\Theta + t \cdot \mu_b^\Theta$

- $V[\Theta_t] = \frac{\beta_t}{\alpha^2} = \frac{\beta_a + t \cdot \beta_b}{\alpha^2}$

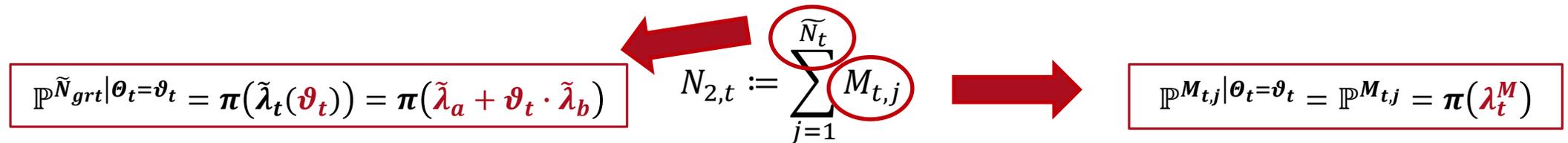
- Verschobene Gamma-Verteilungen sind **anpassungsfähig** und besitzen **explizite Momente** (insb. wichtig für Parametrisierung mittels Momentenmethode)



Exemplarischer Pfad von Θ . Mittlere Tagestemperatur pro Jahr in Deutschland ermittelt an Hand von Daten des [DWD](#)

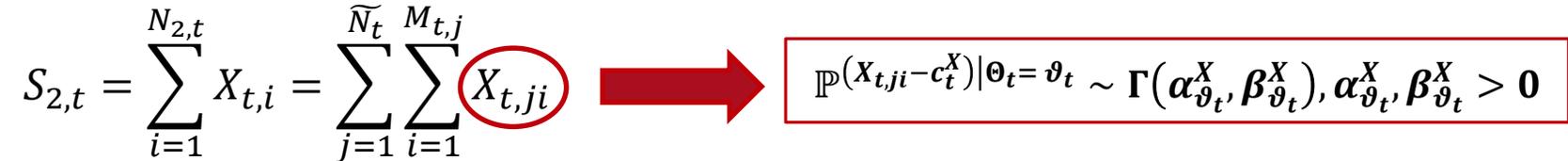
Klimarisikomodellierung – Probabilistische Modellierung der Modellkomponenten

- **Strukturvorgaben an die Modellparameter \tilde{N}_t, M_{tj} und X_{tji}**
 - Die Strukturvorgaben beziehen sich nun auf die **bedingten Verteilungen** der Modellkomponenten (gegeben Θ_t)



- Anzahlen $M_{t,j}$ pro Kumul werden als unabhängig von Θ_t angesetzt, um „doppelten“ Einfluss schon bei der Anzahl zu vermeiden
- Aufgrund dieser Spezifikationen besitzt $N_{2,t}$ gegeben $\Theta_t = \vartheta_t$ eine **Compound Poisson-Verteilung**

$$\mathbb{P}^{N_{2,t}|\Theta_t=\vartheta_t} = \mathbb{P}^{\sum_{j=1}^{\tilde{N}_t} M_{t,j}|\Theta_t=\vartheta_t} = \mathbf{CP}(\tilde{\lambda}_a + \vartheta_t \cdot \tilde{\lambda}_b; \pi(\lambda_t^M))$$



Idee: Wähle Parameter so, dass Momente linear in ϑ_t

Klimarisikomodellierung – Bemerkungen zu Parameterschätzungen

- Standardmethoden **scheiden** wegen der Dynamik der Modelle **aus**
- Heuristische **Alternativansätze** sind gefragt
 - Verwendet wurden bspw. eine an die Dynamik **angepasste Momentenmethode**
 - Orientierung am **Marginalsummenverfahren**
 - Iterative **Maximum-Likelihood Methoden**
- Grund für die verwendeten Heuristiken war die (dürftige) Datengrundlage
 - Für die Parametrisierung wurde mit **öffentlich zugänglichen** Daten gearbeitet
 - [Serviceteil](#) des [GDV-Naturgefahrenreports](#)



Anwendungen – Tarifierung und Risikomanagement

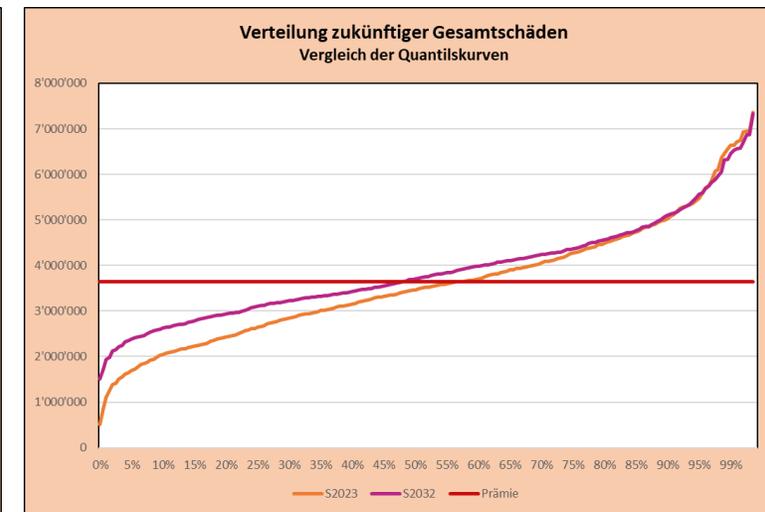
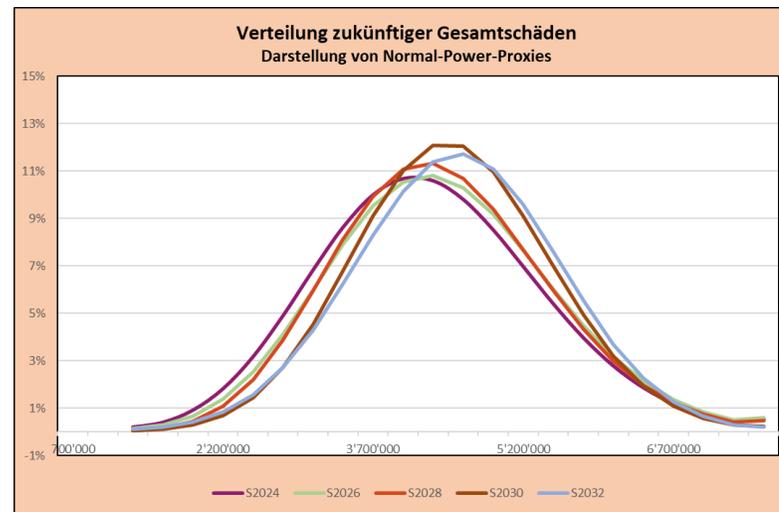
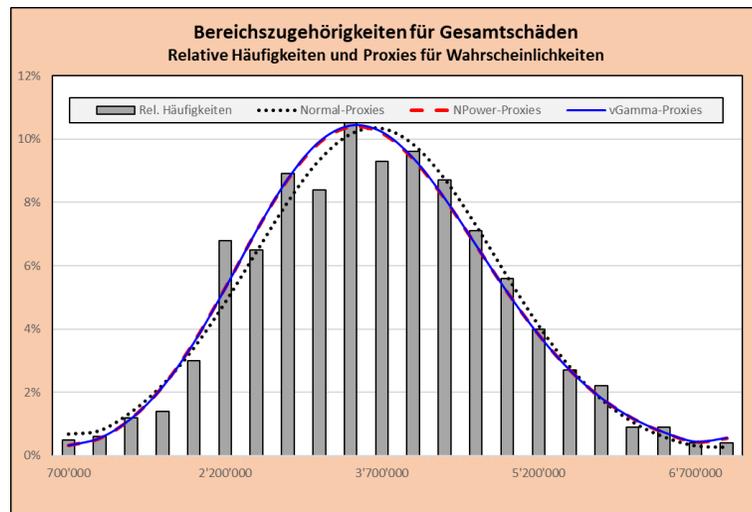
- **Tarifierung:** Herleitung der **unbedingten Verteilungen** der Modellkomponenten \widetilde{N}_t, M_{tj} und X_{tji} sowie des Gesamtschadens $S_{3,t}$ (oder zumindest deren (ersten beiden) Momente) notwendig
- **Analytische Bestimmung** über den Satz der totalen Wahrscheinlichkeit, bspw.

$$\mathbb{P}(N_{2,t} = n) = \int \mathbb{P}(N_{2,t} = n | \boldsymbol{\theta}_t = \boldsymbol{\vartheta}_t) P_{\boldsymbol{\theta}_t}(d\boldsymbol{\vartheta}_t)$$

- **Geschlossene Darstellung** der Verteilung von $S_{3,t}$ aufgrund der Modellkomplexität **nicht zu erwarten**
 - Darstellungen des **Erwartungswerts**, der **Varianz** und der **Schiefte** der Verteilung konnten hergeleitet werden
- **Risikomanagement:** Analyse von Negativszenarien im Fokus
 - Bestimmung von Überschreitungs-, Verlust- und Ruinwahrscheinlichkeiten
 - Analyse von Abhängigkeitsstrukturen zwischen den Modellkomponenten

Anwendungen – Beispiel

- Fiktiver Versicherer mit **50.000 Risiken**, der ausschließlich in Deutschland Geschäft betreibt
- Fokus auf die Sparte **VGV**, die Gefahr **Starkregen** und den Klimawandelindikator **Mittlere Tagestemperatur in D**
- Parametrisierung anhand öffentlich zugänglicher Daten des GDV für die Jahre 2000 – 2022
- Überprüfung: Exemplarischer Vergleich der relativen Häufigkeiten von simulierten Gesamtschäden für das Jahr 2023 mit verschiedenen Approximationen (Normal, Normal-Power, verschoben Gamma)
- Darstellung zukünftiger Gesamtschäden



Fazit und Ausblick

- **C-Modelle zur Integration von externen Einflüssen auf die Schadenversicherung**
 - Instrument zur **Modellierung** von **Klimawandeleffekten** auf die Schadenversicherung
 - Ein Ansatz, die komplexe Realität **prototypisch** zu beschreiben
 - Ausweitung der vorgestellten Methodik auch auf **weitere externe Einflussfaktoren** (wie bspw. Inflation) denkbar
- **Erweiterte Modellierung von Gesamtschäden im Vergleich zum *Kollektiven Modell***
 - Beschreibung von **Gesamtschäden** und **Komponenten** (Kumulereignisse, Anzahlen pro Kumul, Einzelschadenhöhen)
 - **Abhängigkeit** (nahezu) aller Modellkomponenten von ausgewähltem **Klimaindikator**
- **Unterscheidung zu klassischen kollektiven Modellen**
 - Deutlich komplexere **Abhängigkeitsstrukturen** als bei klassischen Modellen
 - Hervorhebung der **Abgrenzung** insbesondere wegen dieser Komplexität

Fazit und **Ausblick**

- Weitere Spezifizierung des Modells, um den **gefahren- und regionsspezifischen Auswirkungen** des Klimawandels Rechnung zu tragen
 - Insb. Ansatz von verschiedenen Klimawandelindikatoren
- Tiefgreifendere Analyse von **Abhängigkeitsstrukturen** zwischen den Modellkomponenten
- Analyse unterschiedlicher Methoden zur **Modellvalidierung** und **Backtesting**
- Einsatz in einem **realen Portfolio** eines SUV-Versicherers