



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

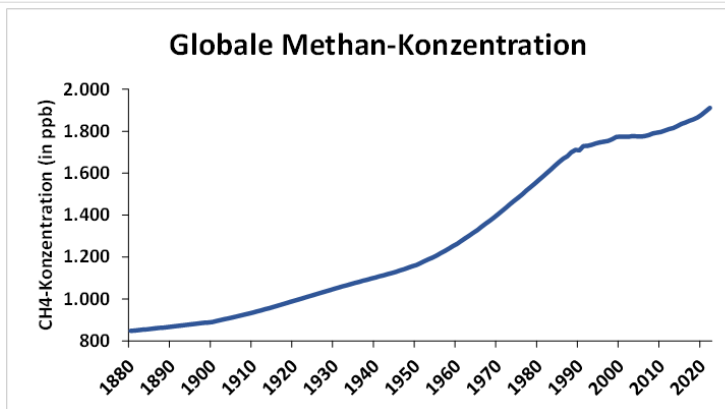
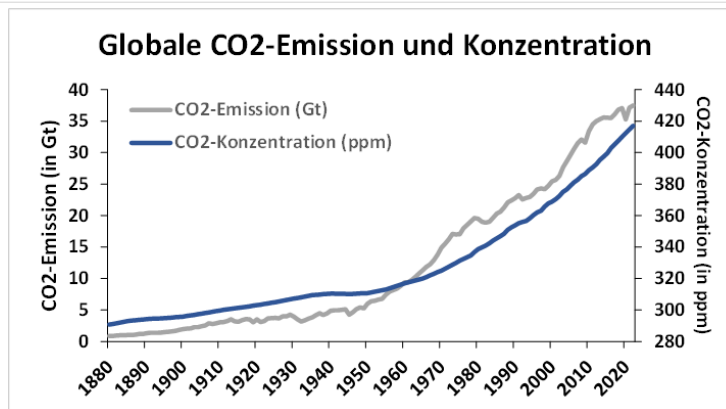
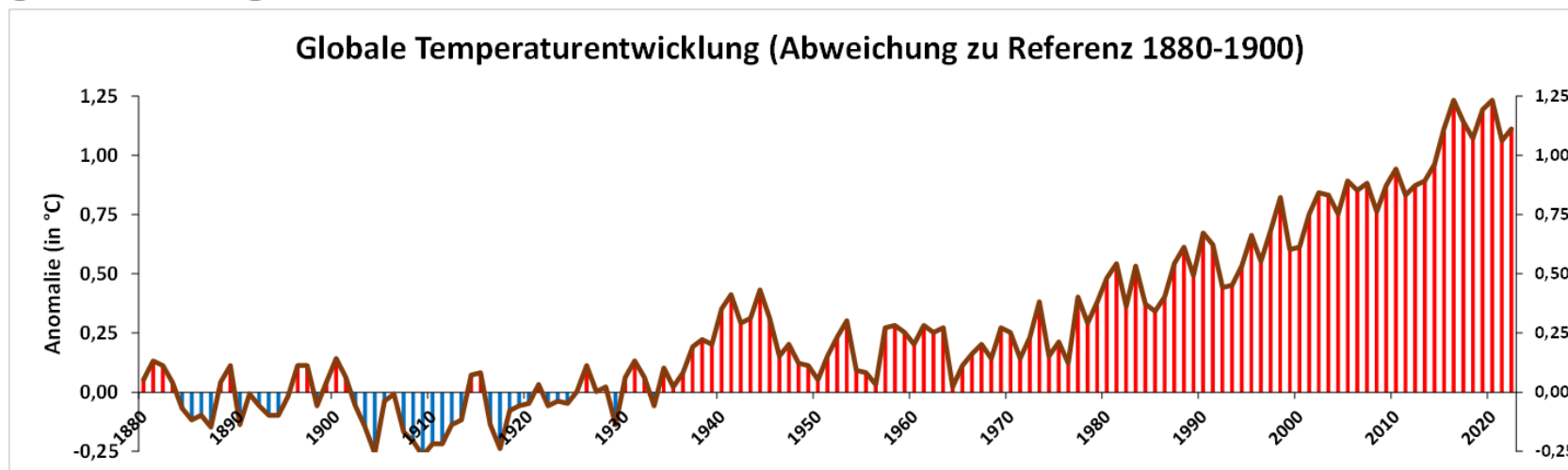
1. Ausgangslage
2. Ein Ansatz zur Integration der Auswirkungen des Klimawandels in stochastische Schadenmodelle
3. Anwendungen des Modells
4. Fazit und Ausblick

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

UAG Modelle und Quantifizierung:

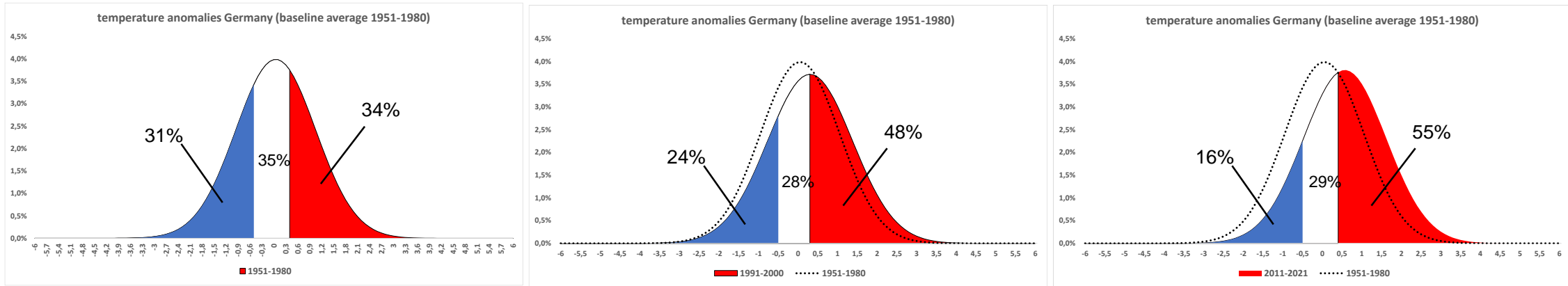
Output: gemeinsame Konzeption des im Folgenden vorgestellten Modells, insb. Prof. Dr. Klaus J. Schröter, Prof. Dr. Benedikt Funke

Ausgangslage – Klimawandel: «Nur» ein langfristiger Trend?



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

Ausgangslage – Klimawandel: «Nur» ein langfristiger Trend?

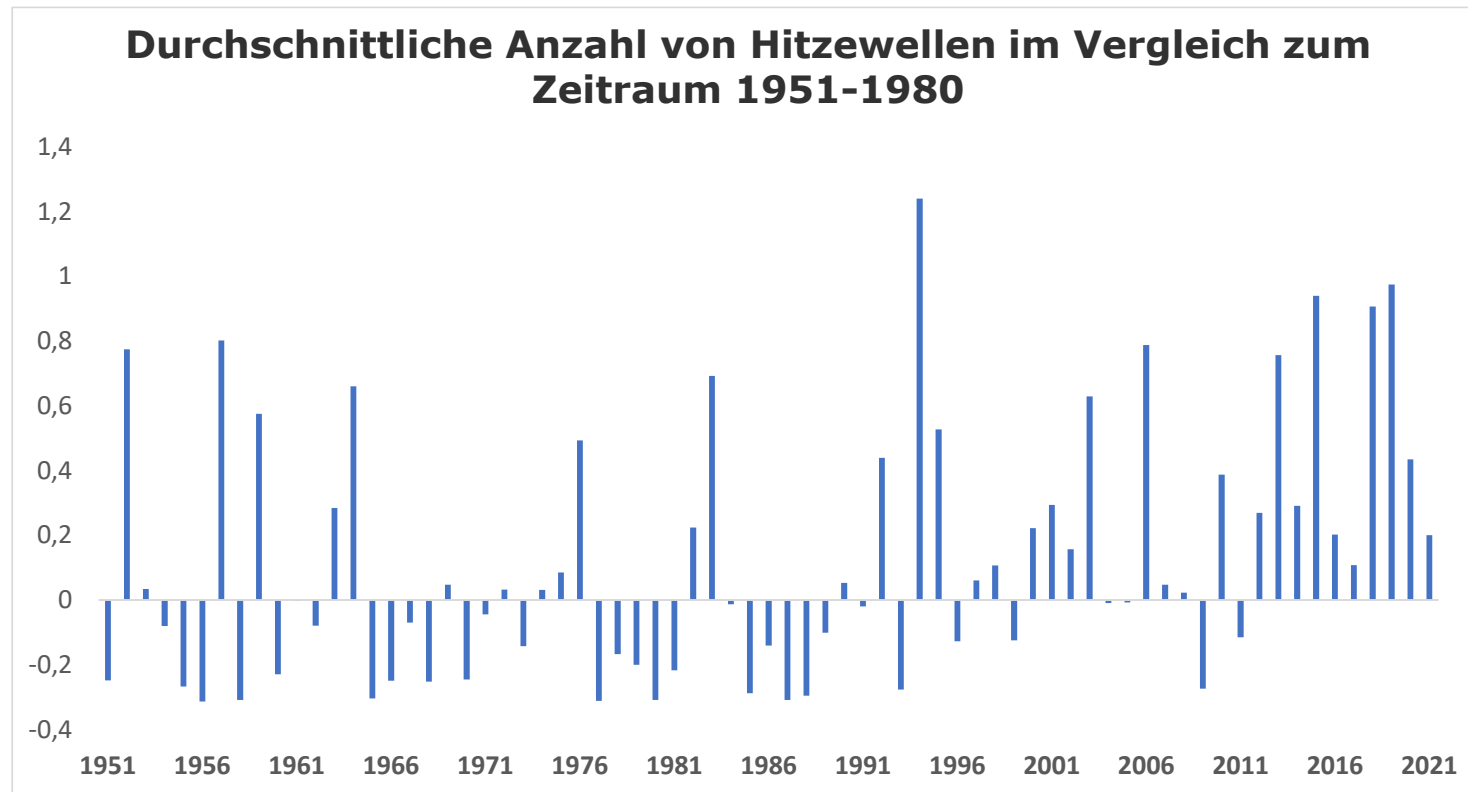


Quelle: EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum Juni – August an 1.051 Wetterstationen in Deutschland

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?

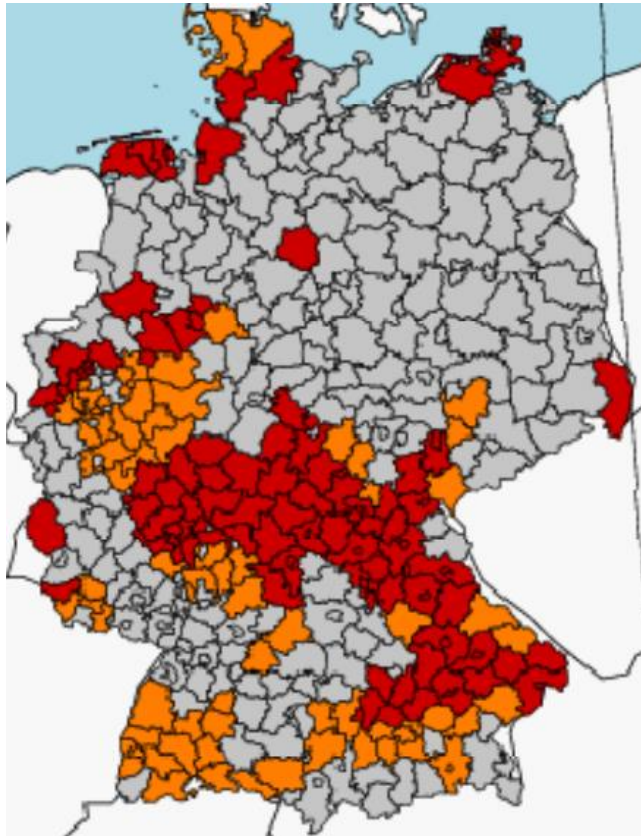


Quelle: EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum Juni – August an 1.051 Wetterstationen in Deutschland

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

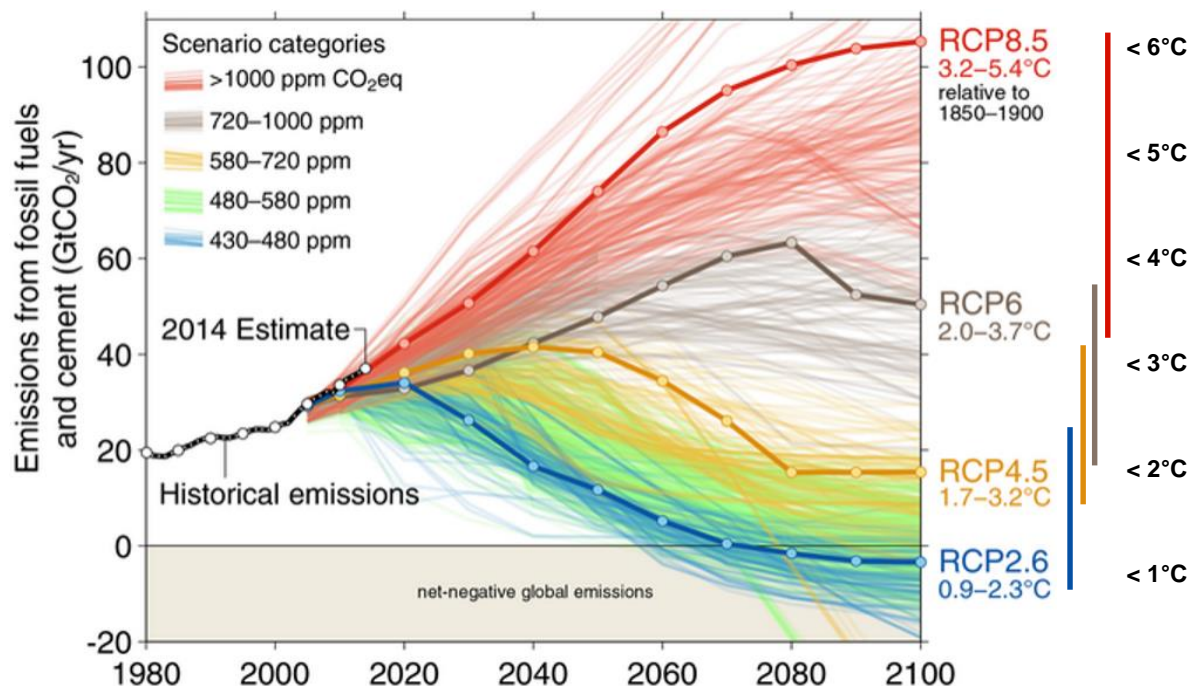
- In der Starkregenstudie wurde die Anzahl der Starkregentage in Deutschland für die Periode 2036-2065 modelliert und mit der Referenzperiode 1966-1995 verglichen
- Das Modell zeigt eine große Anzahl an Regionen, in denen ein signifikanter Anstieg der Starkregentage erwartet wird

■ 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:

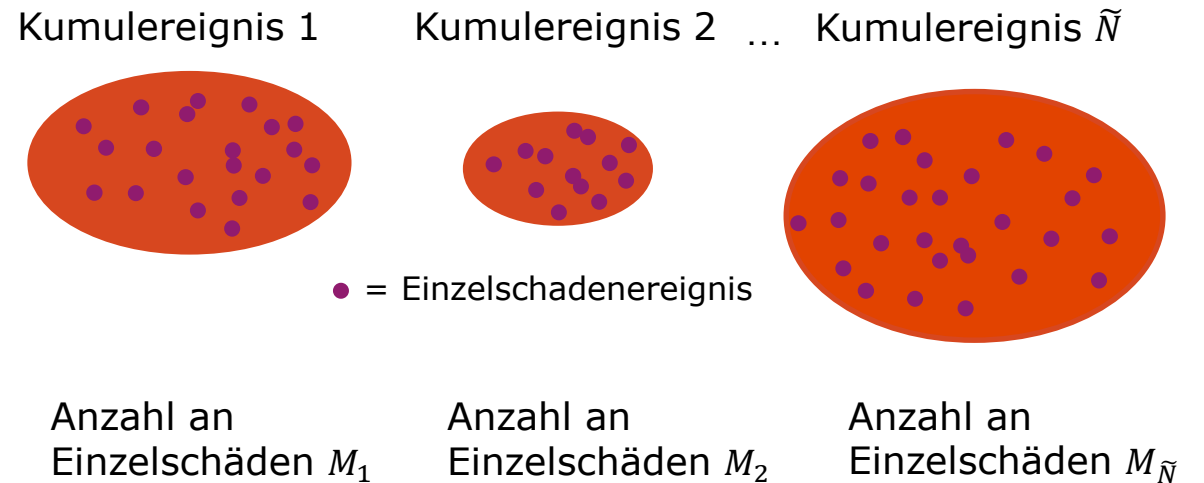
Gesamtschadenmodellierung über das klassische **Kollektive Modell** der Risikotheorie

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

- 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:

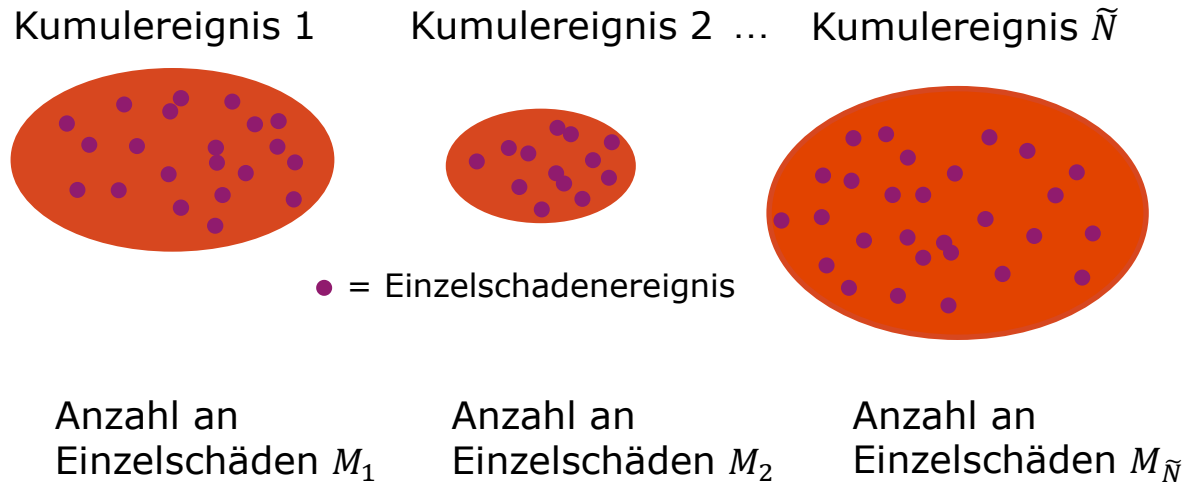
Unterscheidung zwischen **Kumul-** und **Einzelschaden**ereignissen



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

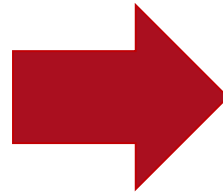
Klimarisikomodellierung – Kategorisierung verschiedener Ansätze

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:

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

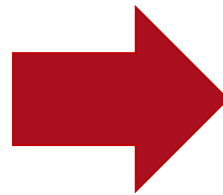
- Aber: Weiterhin **keine Modellierungen** von Klimaeffekten

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 Klimateffekten

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**

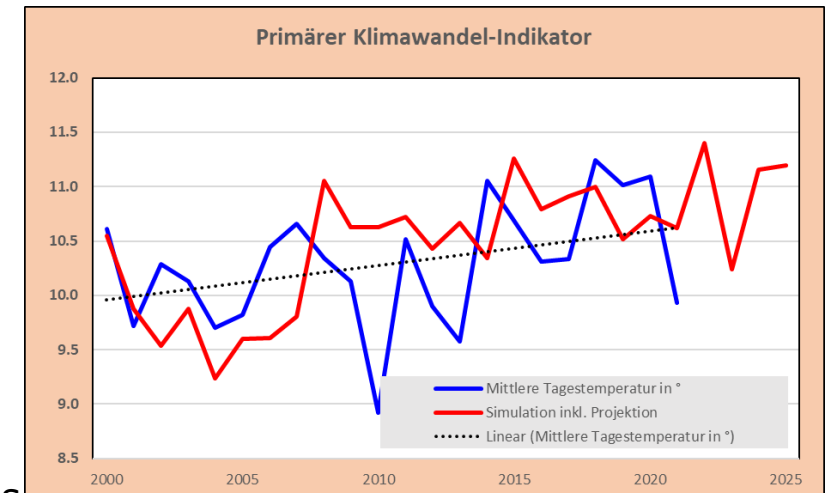
- $\Theta_t - c_t \sim \Gamma(\alpha, \beta_t), \beta_t = \beta_a + t \cdot \beta_b, c_t = c_a + t \cdot c_b$ mit $\alpha, \beta_b, c_b > 0$

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

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

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

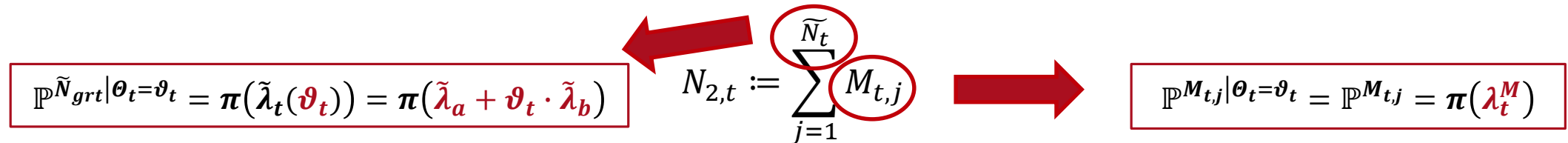
- Verschobene Gamma-Verteilungen sind **anpassungsfähig** und besitzen **explizite Momente** (insb. wichtig für Parametrisierung mittels Momentenmethode)



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

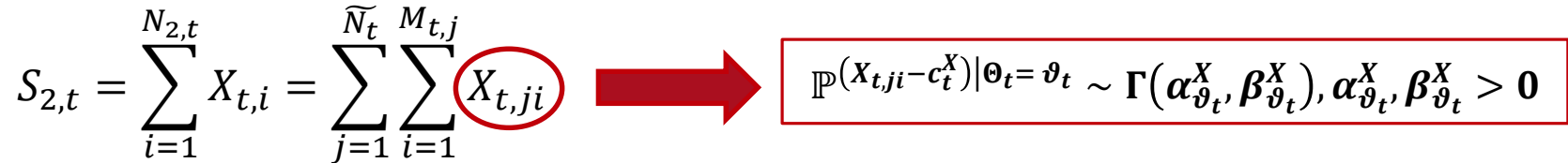
Klimarisikomodellierung – Probabilistische Modellierung der Modellkomponenten

- **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

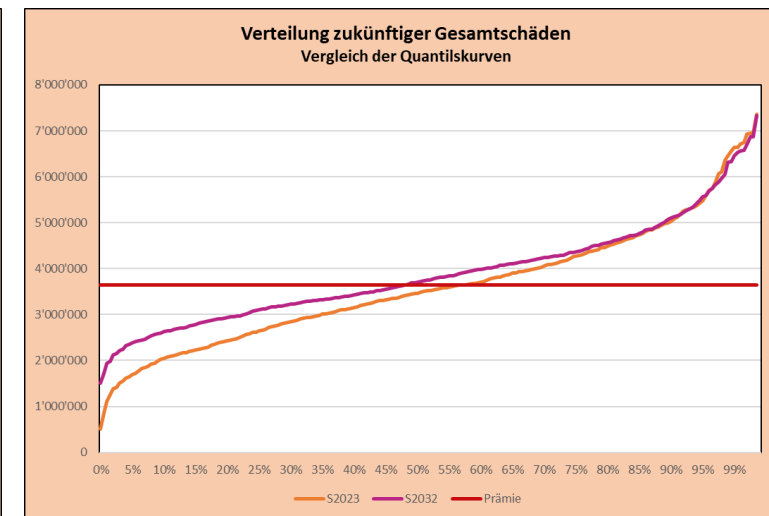
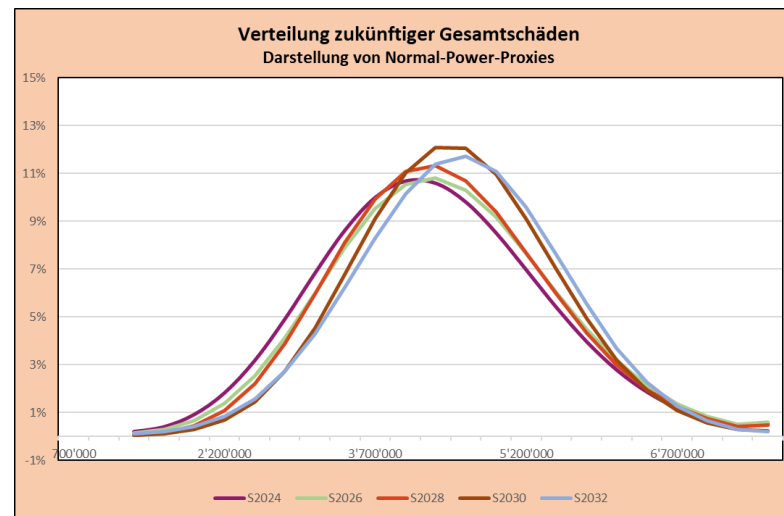
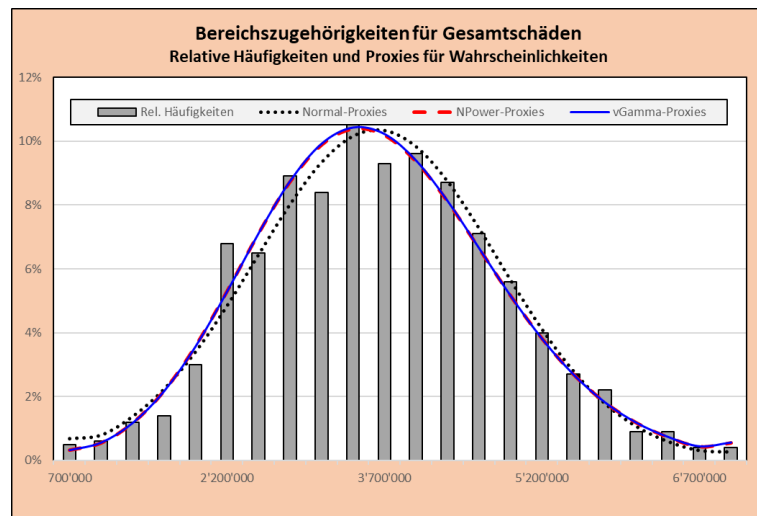
- **Tarifierung:** Herleitung der **unbedingten Verteilungen** der Modellkomponenten \widetilde{N}_t, M_{tj} und X_{tji} sowie des Gesamtschadens $S_{3,t}$ (oder zumindest deren (ersten beiden) Momente) notwendig
- **Analytische Bestimmung** über den Satz der totalen Wahrscheinlichkeit, bspw.

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

- **Geschlossene Darstellung** der Verteilung von $S_{3,t}$ aufgrund der Modellkomplexität **nicht zu erwarten**
 - Darstellungen des **Erwartungswerts**, der **Varianz** und der **Schiefe** 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