

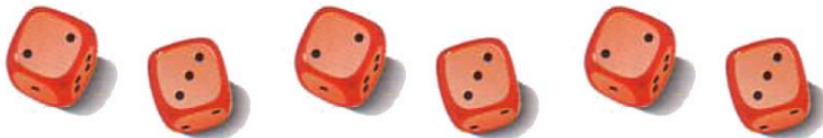
# Können Risiken aus technisch-ökonomischen Entwicklungen zuverlässig eingeschätzt werden?

Ein Diskussionsbeitrag aus Sicht  
der mathematischen Statistik

Prof. Dr. Dietmar Pfeifer

Institut für Mathematik

Schwerpunkt Versicherungs- und Finanzmathematik



# Agenda

1. Was ist Risiko?
2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen
3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind
4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

# 1. Was ist Risiko?

# 1. Was ist Risiko?

Abgrenzung zwischen **Risiko** und **Gefahr**:

**Gefahr**: Subjektunabhängige Bedrohung. **Gefahren** sind extern veranlasst, **Gefahren** ist man ausgesetzt.

# 1. Was ist Risiko?

Abgrenzung zwischen **Risiko** und **Gefahr**:

**Gefahr**: Subjektunabhängige Bedrohung. **Gefahren** sind extern veranlasst, **Gefahren** ist man ausgesetzt.

**Risiko**: **Risiko** beinhaltet das Moment der Entscheidung. Verantwortung ist Voraussetzung für und Folge der Entscheidung. **Risiken** geht man ein.

# 1. Was ist Risiko?

Abgrenzung zwischen **Risiko** und **Gefahr**:

**Gefahr**: Subjektunabhängige Bedrohung. **Gefahren** sind extern veranlasst, **Gefahren** ist man ausgesetzt.

**Risiko**: **Risiko** beinhaltet das Moment der Entscheidung. Verantwortung ist Voraussetzung für und Folge der Entscheidung. **Risiken** geht man ein.

[Deutscher Alpenverein]



## 1. Was ist Risiko?

**Risiken** sind die aus der Unvorhersehbarkeit der Zukunft resultierenden, durch „zufällige“ Störungen verursachten Möglichkeiten, von geplanten Zielwerten abzuweichen.

**Risiken** können daher auch als „Streuung“ um einen Erwartungs- oder Zielwert betrachtet werden.

[Frank Romeike, RiskNET]



# 1. Was ist Risiko?

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das **Risiko** eines Verlustes?

# 1. Was ist Risiko?

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das **Risiko** eines Verlustes?

Erste Antwort:

Wahrscheinlichkeit eines Verlustes =  $5/6 = 83,33\%$

→ **Spiel ist risikoreich (?)**

## 1. Was ist Risiko?

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das **Risiko** eines Verlustes?

Zweite Antwort:

**Erwartungswert eines Verlustes**

$$= \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Verlusthöhe} = 5/6 \times 6 \text{ €} = 5 \text{ €}$$

**Erwartungswert eines Gewinnes**

$$= \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Gewinnhöhe} = 1/6 \times 36 \text{ €} = 6 \text{ €}$$

## 1. Was ist Risiko?

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das **Risiko** eines Verlustes?

Zweite Antwort:

**Erwartungswert des Spielergebnisses**

= **Erwartungswert** eines **Gewinnes** – **Erwartungswert** eines **Verlustes**

= 6 € – 5 € = 1 €

→ **Spiel ist *nicht* risikoreich (?)**

## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

**Risiken** werden häufig durch ihren statistischen Erwartungswert eingeschätzt (→ Grundlage der Tarifierung von Versicherungsprodukten).

## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

**Risiken** werden häufig durch ihren statistischen Erwartungswert eingeschätzt (→ Grundlage der Tarifierung von Versicherungsprodukten).

### Erwartungswert eines Risikos

= Summe aus (Eintrittswahrscheinlichkeit pro Ursache × jeweilige Risikohöhe)

## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

**Risiken** werden häufig durch ihren statistischen Erwartungswert eingeschätzt (→ Grundlage der Tarifierung von Versicherungsprodukten).

### Erwartungswert eines Risikos

= Summe aus (Eintrittswahrscheinlichkeit pro Ursache × jeweilige Risikohöhe)

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das **Risiko** eines Verlustes?

Risiko-Ursache (Augenzahl)	1	2	3	4	5	6	Summe
Eintrittswahrscheinlichkeit	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	
Risikohöhe	-6€	-6€	-6€	-6€	-6€	36€	
Produkt	-1€	-1€	-1€	-1€	-1€	6€	1€

## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

**Risiken** werden häufig durch ihren statistischen Erwartungswert eingeschätzt (→ Grundlage der Tarifierung von Versicherungsprodukten).

Das Gesetz der großen Zahlen besagt hier:

Wiederholt sich die Risikosituation in unabhängiger und statistisch gleichartiger Weise hinreichend oft, so nähert sich das durchschnittliche Risiko seinem Erwartungswert an.

[Jakob Bernoulli, um 1695]



## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das Risiko eines Verlustes?



## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

Beispiel:

Sie wetten auf das Erscheinen einer Sechs beim Würfeln. Fällt die Sechs, erhalten Sie 36 €, anderenfalls zahlen Sie 6 €. Wie groß ist das Risiko eines Verlustes?



## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

**Risiken** werden häufig durch ihren statistischen Erwartungswert eingeschätzt (→ Grundlage der Tarifierung von Versicherungsprodukten).

Das Gesetz der großen Zahlen sorgt dabei für einen Ausgleich im Kollektiv (große Anzahl gleichartiger Risiken) und in der Zeit (große Anzahl an Wiederholungen).

## 2. Risiko, Erwartungswert und das Gesetz der großen Zahlen

**Risiken** werden häufig durch ihren statistischen Erwartungswert eingeschätzt (→ Grundlage der Tarifierung von Versicherungsprodukten).

Das Gesetz der großen Zahlen sorgt dabei für einen Ausgleich im Kollektiv (große Anzahl gleichartiger Risiken) und in der Zeit (große Anzahl an Wiederholungen).

Voraussetzung dafür ist aber, dass die Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Risikoursachen hinreichend zuverlässig eingeschätzt werden können!

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Der Begriff des „Restrisikos“ wirkt verharmlosend. Er wird oft mit einem Risiko in Verbindung gebracht, dass eine nur sehr kleine Eintrittswahrscheinlichkeit besitzt.

Aber: es kommt dabei auch auf die potenzielle Risikohöhe an!

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:



Tschernobyl 1986

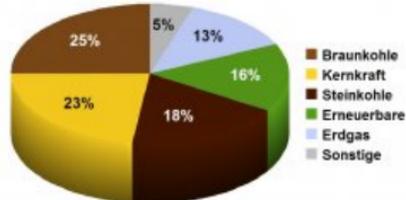


Fukushima 2011

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Stromverbrauch in Deutschland 2009 nach der Hochrechnung des *Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)*: 596 Mrd. KWh



Davon aus Atomkraftwerken: 23% = 37 Mrd. KWh

Anfang 2010 waren in Deutschland 17 AKW in Betrieb.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Nach einer im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft schon im Jahr 1992 (!) bei Prof. Dr. Hans-Jürgen Ewers, Universität Münster in Auftrag gegebenen Studie sind bei einer schweren Havarie (Super-GAU) in Deutschland Personen- und Sachschäden von

6.000 Milliarden €

oder mehr zu erwarten. Geht man sehr vorsichtig von einer jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit je Kraftwerk von nur  $1/1000$  aus, beträgt der Erwartungswert des Risikos 6 Milliarden €.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Für eine Versicherung dieses **Risikos** wäre also eine jährliche technische Prämie je Kraftwerk von ca. 6 Milliarden € erforderlich, also bei 17 Kraftwerken ein Prämienvolumen in Höhe von über **100 Milliarden €**.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Für eine Versicherung dieses **Risikos** wäre also eine jährliche technische Prämie je Kraftwerk von ca. 6 Milliarden € erforderlich, also bei 17 Kraftwerken ein Prämienvolumen in Höhe von über **100 Milliarden €**.

Eine Umlage dieser Prämie auf den Strompreis würde eine Zusatzbelastung von ca.  $100/37 = 2,70$  € je Kilowattstunde Atomstrom bedeuten.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Für eine Versicherung dieses **Risikos** wäre also eine jährliche technische Prämie je Kraftwerk von ca. 6 Milliarden € erforderlich, also bei 17 Kraftwerken ein Prämienvolumen in Höhe von über **100 Milliarden €**.

Eine Umlage dieser Prämie auf den Strompreis würde eine Zusatzbelastung von ca.  $100/37 = 2,70$  € je Kilowattstunde Atomstrom bedeuten.

Eine Umlage auf den Strompreis ohne Beachtung der Herkunft würde immer noch eine Zusatzbelastung von ca.  $100/600 = 0,16$  € je Kilowattstunde bedeuten.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Aber Achtung: Das Gesetz der großen Zahlen greift hier nicht, da das Kollektiv zu klein und die betrachteten Zeiträume zu groß sind.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Aber Achtung: Das Gesetz der großen Zahlen greift hier nicht, da das Kollektiv zu klein und die betrachteten Zeiträume zu groß sind.

Ein nennenswertes Sicherheitskapital zur Deckung von Schäden kann erst im Laufe von mehreren hundert Jahren „angespart“ werden.

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Aber Achtung: Das Gesetz der großen Zahlen greift hier nicht, da das Kollektiv zu klein und die betrachteten Zeiträume zu groß sind.

Ein nennenswertes Sicherheitskapital zur Deckung von Schäden kann erst im Laufe von mehreren hundert Jahren „angespart“ werden.

Konsequenz: Man braucht einen Bürgen (Staat?), der für die nächsten 500 Jahre ein Haftungskapital von ca. 6.000 Milliarden € (das ist ein Volumen von mehr als 10 Bundeshaushalten) mit der Möglichkeit eines Totalverlustes garantiert. Damit wäre aber lediglich *ein einziger* Super-GAU für alle Kraftwerke abgesichert. **Das ist außerhalb jeder politischen Machbarkeit.**

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

Beispiel Atomkraft:

Finanzierung des Haftungskapitals durch Private Investoren: Potenziell möglich, aber wegen des hohen **Risikos** mit erheblichen Zinszahlungen verbunden (realistischerweise 15% p.a.)

### 3. Warum technische „Restrisiken“ nicht versicherbar sind

#### Beispiel Atomkraft:

Finanzierung des Haftungskapitals durch Private Investoren: Potenziell möglich, aber wegen des hohen **Risikos** mit erheblichen Zinszahlungen verbunden (realistischerweise 15% p.a.)

Konsequenz: auf die Kraftwerksbetreiber kämen jährlich Zinszahlungen in Höhe von ca. **900 Milliarden €** zu. Damit würde eine Kilowattstunde Strom etwa **24 € (Atomstrom) bzw. 1,50 € (Gesamtstrom)** mehr kosten.

Das ist ökonomisch nicht durchsetzbar.

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

### Wesentliche Probleme:

- anders als beim Würfel können Eintrittswahrscheinlichkeiten für ökonomisch-technische Großrisiken nicht „sicher“ eingeschätzt werden

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

### Wesentliche Probleme:

- anders als beim Würfel können Eintrittswahrscheinlichkeiten für ökonomisch-technische Großrisiken nicht „sicher“ eingeschätzt werden
- die tatsächliche Schadenhöhe kann meist nur grob geschätzt werden

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

### Wesentliche Probleme:

- anders als beim Würfel können Eintrittswahrscheinlichkeiten für ökonomisch-technische Großrisiken nicht „sicher“ eingeschätzt werden
- die tatsächliche Schadenhöhe kann meist nur grob geschätzt werden
- Folgeschäden in Kausalketten werden in vielen statistischen Modellen nicht oder nicht hinreichend genau abgebildet (→ Kumulrisiken), damit werden Eintrittswahrscheinlichkeiten für Großschäden tendenziell unterschätzt

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Beispiel zum dritten Punkt:

Wir betrachten zwei Risiken mit je einer Eintritts-Ursache U1 und U2. Jede der beiden Ursachen hat die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit **10%**. Im Fall des Eintritts von U1 ergibt sich ein Schaden von **1 Mio. €**, im Fall des Eintritts von U2 ergibt sich ein Schaden von **2 Mio. €**.

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Beispiel zum dritten Punkt:

Wir betrachten zwei Risiken mit je einer Eintritts-Ursache U1 und U2. Jede der beiden Ursachen hat die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit **10%**. Im Fall des Eintritts von U1 ergibt sich ein Schaden von **1 Mio. €**, im Fall des Eintritts von U2 ergibt sich ein Schaden von **2 Mio. €**.

Fall 1: die Risiken sind **stochastisch unabhängig**

Es treten ein	U1	nicht U1	Summe
U2	1%	9%	10%
nicht U2	9%	81%	90%
Summe	10%	90%	100%

Kombinationswahrscheinlichkeiten

Gesamtschaden	0 €	1 Mio. €	2 Mio. €	3 Mio. €
Eintrittswahrscheinlichkeit	81%	9%	9%	1%

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Beispiel zum dritten Punkt:

Wir betrachten zwei Risiken mit je einer Eintritts-Ursache U1 und U2. Jede der beiden Ursachen hat die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit **10%**. Im Fall des Eintritts von U1 ergibt sich ein Schaden von **1 Mio. €**, im Fall des Eintritts von U2 ergibt sich ein Schaden von **2 Mio. €**.

Fall 2: die Risiken sind **maximal stochastisch abhängig** („Worst Case“)

Es treten ein	U1	nicht U1	Summe
U2	10%	0%	10%
nicht U2	0%	90%	90%
Summe	10%	90%	100%

Kombinationswahrscheinlichkeiten

Gesamtschaden	0 €	1 Mio. €	2 Mio. €	3 Mio. €
Eintrittswahrscheinlichkeit	90%	0%	0%	10%

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Beispiel zum dritten Punkt:

Wir betrachten zwei Risiken mit je einer Eintritts-Ursache U1 und U2. Jede der beiden Ursachen hat die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit **10%**. Im Fall des Eintritts von U1 ergibt sich ein Schaden von **1 Mio. €**, im Fall des Eintritts von U2 ergibt sich ein Schaden von **2 Mio. €**.

Fall 3: die Risiken sind **vollständig diversifiziert** („Best Case“)

Es treten ein	U1	nicht U1	Summe
U2	0%	10%	10%
nicht U2	10%	80%	90%
Summe	10%	90%	100%

Kombinationswahrscheinlichkeiten

Gesamtschaden	0 €	1 Mio. €	2 Mio. €	3 Mio. €
Eintrittswahrscheinlichkeit	80%	10%	10%	0%

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Beispiel zum dritten Punkt:

Wir betrachten zwei Risiken mit je einer Eintritts-Ursache U1 und U2. Jede der beiden Ursachen hat die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit **10%**. Im Fall des Eintritts von U1 ergibt sich ein Schaden von **1 Mio. €**, im Fall des Eintritts von U2 ergibt sich ein Schaden von **2 Mio. €**.

In allen drei Fällen beträgt der Erwartungswert des Gesamtrisikos **0,3 Mio. €!**

Gesamtschaden		0 €	1 Mio. €	2 Mio. €	3 Mio. €
Eintrittswahrscheinlichkeit	1	81%	9%	9%	1%
	2	90%	0%	0%	10%
	3	80%	10%	10%	0%

Die drei Risiko-Situationen sind aber sehr unterschiedlich!

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Fazit: der Erwartungswert allein ist kein ausreichendes Risikomaß!

Alternativen:

- Value @ Risk zum Risikoniveau  $\alpha$  (oberhalb welcher Schwelle liegen die  $100 \times \alpha$  % „schlimmsten“ Risikowerte?)
- Expected Shortfall zum Risikoniveau  $\alpha$  (bedingter Erwartungswert der „schlimmsten“ Risikowerte oberhalb des Value @ Risk)

## 4. Zur Einschätzbarkeit ökonomisch-technischer Großrisiken

Beispiel zum dritten Punkt:

Wir betrachten zwei Risiken mit je einer Eintritts-Ursache U1 und U2. Jede der beiden Ursachen hat die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit **10%**. Im Fall des Eintritts von U1 ergibt sich ein Schaden von **1 Mio. €**, im Fall des Eintritts von U2 ergibt sich ein Schaden von **2 Mio. €**.

Gesamtschaden		0 €	1 Mio. €	2 Mio. €	3 Mio. €
Eintrittswahrscheinlichkeit	1	81%	9%	9%	1%
	2	90%	0%	0%	10%
	3	80%	10%	10%	0%

Fall	Value @ Risk ( $\alpha = 10\%$ )	Expected Shortfall ( $\alpha = 10\%$ )
1	2 Mio. €	2,1 Mio. €
2	3 Mio. €	3,0 Mio. €
3	2 Mio. €	2,0 Mio. €

Herzlichen Dank  
für die Aufmerksamkeit!