

---

# Wasserwirtschaftliche Planungsmethoden

## 5. Unsicherheit und Risiko in der Planung

o.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. H.P. Nachtnebel  
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau

# Definitionen

---

- Planungen durch "Mangel an Kenntnis" beeinträchtigt
- Quellen der Unsicherheit
  - Begrenzter Datenumfang (Fehlende Daten)
  - Fehlerhafte Daten
  - Modellfehler (unzureichendes Modellkonzept)
  - Gesellschaftliche Werthaltungen sind nicht eindeutig definiert
  - Gesamtfehler

Folgende Arten von Unsicherheit sind zu berücksichtigen

- Risiko
- Unsicherheit
- Impräzision (Unschärfe)

# Definitionen

---

## Zuverlässigkeit

ein Ereignis  $x$  hat eine Dichtefunktion  $f(x)$

$$W_+ = \int_0^{x^*} f(x) dx$$

- ein statistischer Wert, der Wahrscheinlichkeit angibt, dass ein bestimmter Grenzwert  $x^*$  nicht überschritten wird

## Versagenswahrscheinlichkeit

$$W_- = \int_{x^*}^{\infty} f(x) dx = 1 - W_+$$

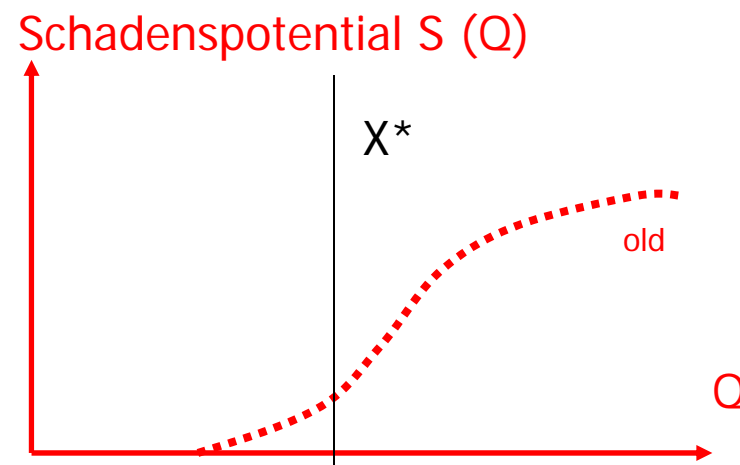
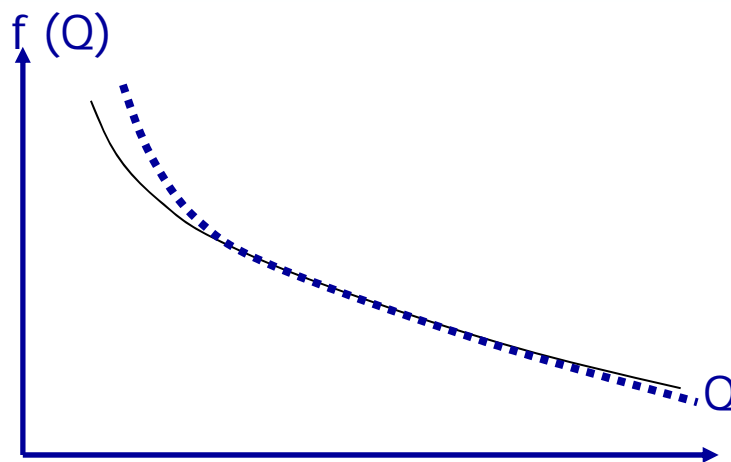
- Die Versagenswahrscheinlichkeit gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Wert  $x^*$  überschritten wird

# Risiko Definition

Ein gefährliches Ereignis  $Q$

Seine Auftrittswahrscheinlichkeit (pdf)  $f(Q)$

Die Konsequenzen (Schäden, Menschenleben,...) gekennzeichnet durch die Schadensfunktion  $S(Q)$



# Definitionen

---

## Risiko

- Ist eine Entscheidung in Bezug auf eine statistische Verteilung zu treffen, ist damit ein Risiko verbunden
- Unter der Annahme, dass die Verteilung einer Größe  $Q$  bekannt ist kann bei gegebenem Schutzgrad  $Q^*$  (Kann auch Null sein) das Risiko angegeben werde

$$R(Q) = \int_{Q^*}^{\infty} S(Q) \cdot f(Q) dQ$$

**Risiko = Schaden  $S(Q)$  \* Auftretenswahrscheinlichkeit  $f(Q)$**

# Definitionen

---

## Unsicherheit

Tatsächlich ist Verteilungsfunktion  $f(Q)$  unbekannt

- Wahl der Verteilung ist nicht begründet
- die Parameterschätzung beruht auf kurzen Stichprobe

## Unschärfe

- Häufig wo Angaben wie "leicht fallende Tendenz" etc.
- Für die Bearbeitung eignet sich eine Zugehörigkeitsfunktion
  - klassifiziert einen Zustand, eine Größe, im Hinblick auf Zugehörigkeit zu einer Klasse mit bestimmten Eigenschaften

# Definitionen

---

## Einteilung der Unsicherheiten

Gliederung der Unsicherheitsfaktoren erfolgt nach

- natürliche Unsicherheit (stochastischen Charakter oder auch aleatorische Unsicherheit)
- Modellunsicherheit (epistemische Unsicherheit)
  - da Modell nur Näherung an Naturvorgang
  - Modellparameter nur Stichprobe mit Messfehlern

# Definitionen

---

## Widerstand

- "Widerstand"  $X$  des Schutzbauwerkes, wie die Belastung  
→ keine deterministische Größe
- Widerstand hat eine interne Versagenswahrscheinlichkeit (Bruch, Rutschung, Unterströmung)  
→ statistische Größe mit Dichtefunktion  $g(X)$

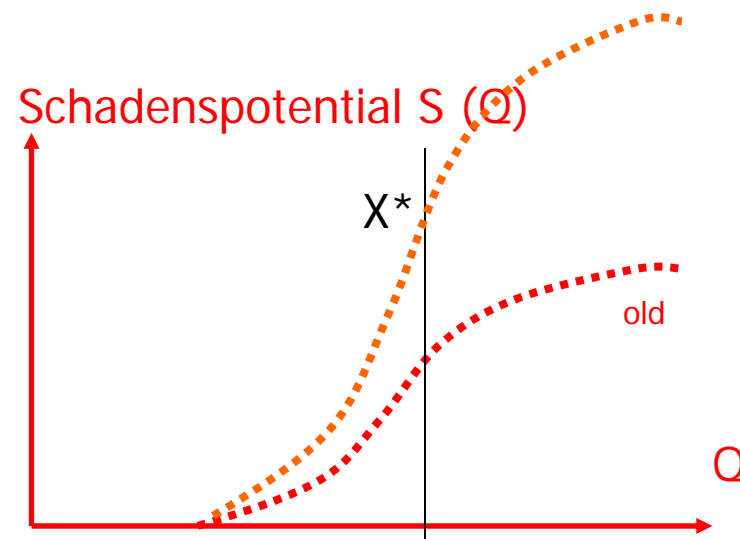
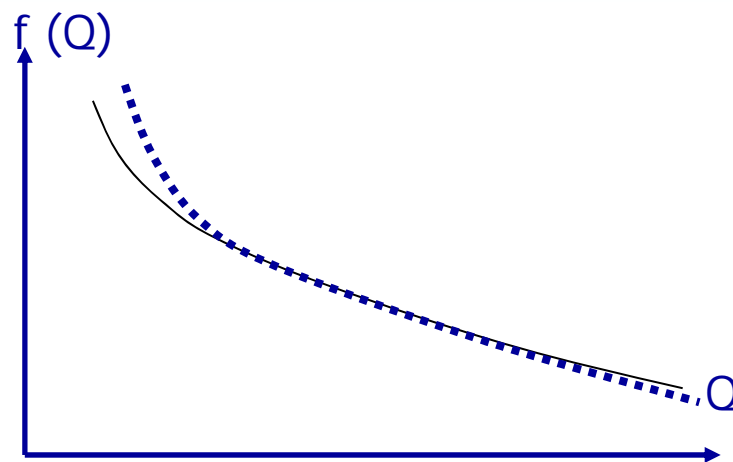
Risiko verändert sich bei Berücksichtigung des Widerstandes zu

$$R(X) = \int_{X_{Min}}^{X_{Max}} g(X) \cdot \int_X^{\infty} f(Q) \cdot S(Q) \cdot dQ \cdot dX$$



# Zeitlicher Aspekt beim Risiko

Was passiert, wenn sich die Landnutzung ändert (Besiedlung nimmt zu)



# Risikokurven

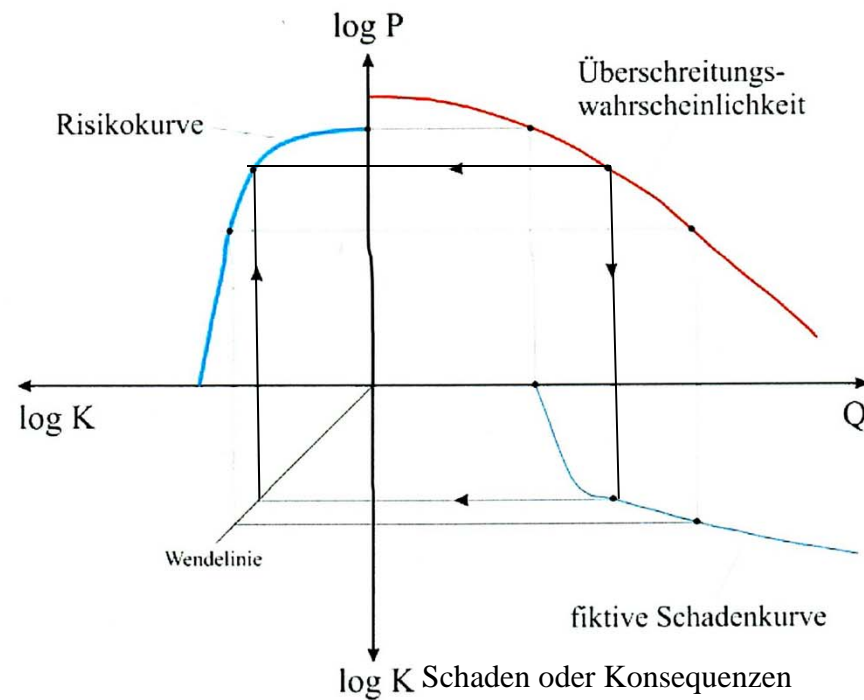
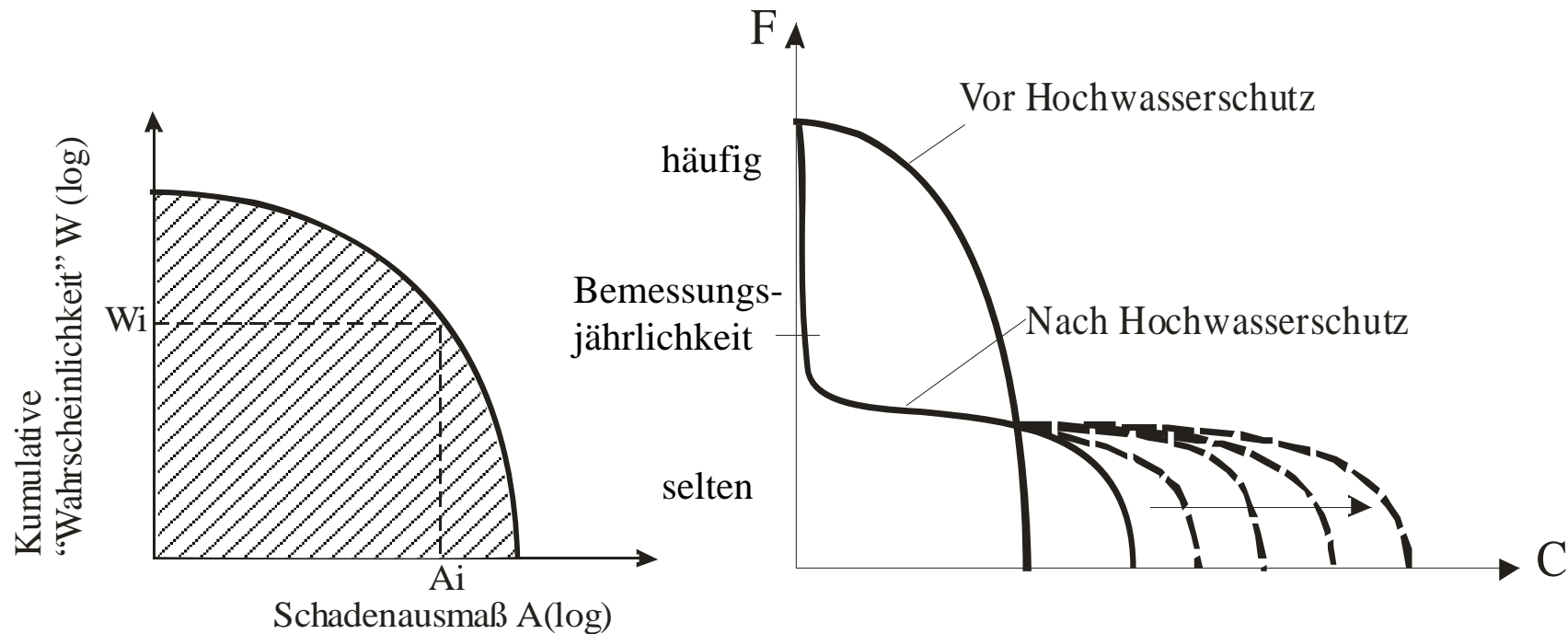


Abb. 5.18 Schematische Darstellung der Umrechnung einer  $p(Q)$ -Beziehung in eine Risikokurve

# Risikokurven

Risiko  $R = f$  (Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadenausmaß)



# Risikodarstellung

---

- Als Mittelwert
- Als Quantil
- Als Funktion

# Annahmen

---

Bisher wurde angenommen, dass das Risiko statisch ist

Das Risiko in einer veränderlichen Umwelt

die Auftrittswahrscheinlichkeit ändert sich

das Schadenspotential ändert sich

der Schutzgrad ändert sich

# Berücksichtigung der Instationarität

---

Risiko wird zu:

Man sollte die Trends berücksichtigen  
.. in  $f(Q,t)$  und  $S(Q,t)$

$$R(X^*) = \int_{T_{start}}^{T_{End}} DF(t) \cdot \int_{X^*}^{\infty} f(Q|t) \cdot S(Q|t) \cdot dQ \cdot dt$$

# Definitionen

---

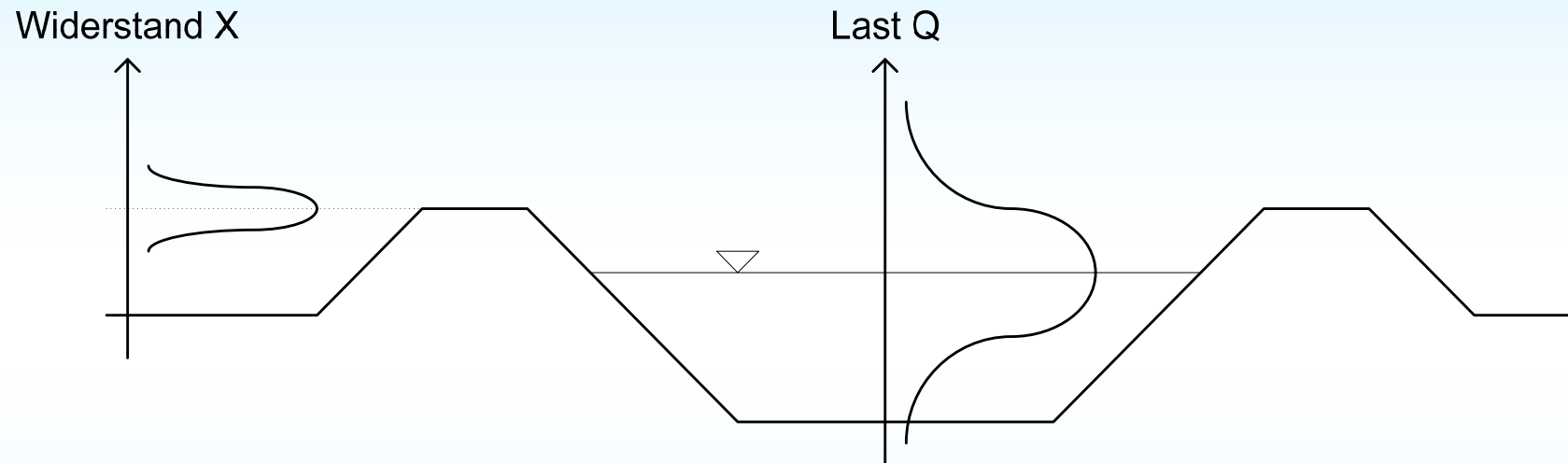


Abb.: Verteilung des Widerstandes und der Last

# Stochastisches Risiko

---

Der Widerstand (Schutzgrad)  $X^*$  des Schutzsystems ist nicht eine fixe Größe

Jedes Schutzsystem hat eine Versagensrate  
(Alter, Bauart, Instandhaltung,..)

$X^*$  ist daher eine stochastische Größe mit einer pdf  $g(x)$

$$R(X^*) = \int_{X_{Min}}^{X_{Max}} g(X) \cdot \int_{X_{Min}}^{\infty} f(Q|X) \cdot S(Q) \cdot dQ \cdot dX$$



# Definitionen

---

## Vulnerabilität

- durch Schadensfunktion beschrieben
- abhängig von der Höhe des extremsten Ereignisses

Vulnerabilität  $v_j(u) = k_j \cdot \varphi_j(u)$        $k_j$  der maximale Schaden  
 $\varphi$  die relative Vulnerabilität

- durch Erhöhung der Sachwerte in gefährdeten Gebieten wird die Vulnerabilität immer weiter erhöht

# Risikomanagement

---

## Risikoabschätzung

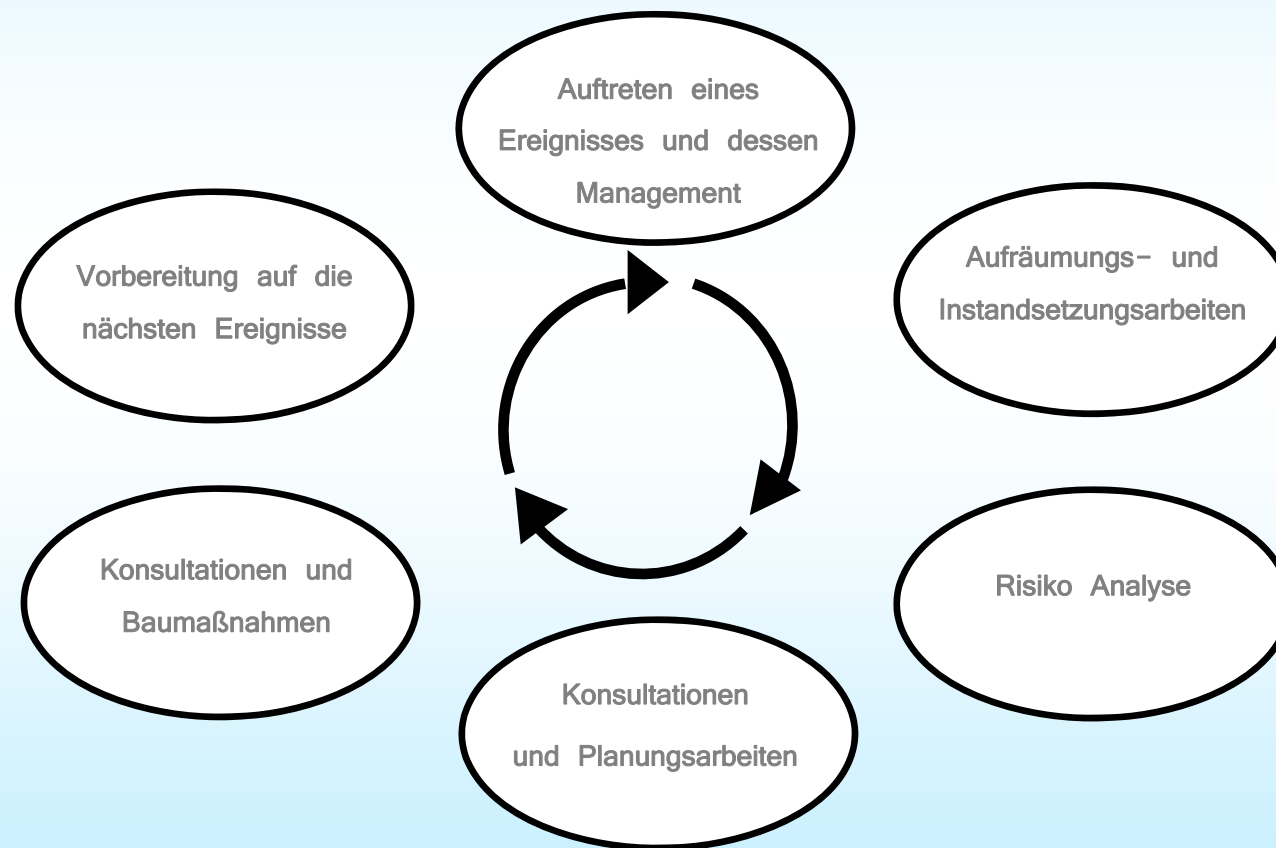
- bedeutet Charakterisierung von nachteiligen Effekten durch eine gegebene Situation
- beinhaltet Charakterisierung der in einem Prozess enthaltenen Unsicherheiten

## Risikomanagement

- beschreibt den Prozess, alternative Regulierungsmaßnahmen abzuschätzen und unter den Alternativen auszuwählen
- Ziel → Ausgleich zwischen Risiko und ökonomischen, politischen oder sozialen Vorteilen zu finden

# Risiko Management Kreis

---



# Risikomanagement

---

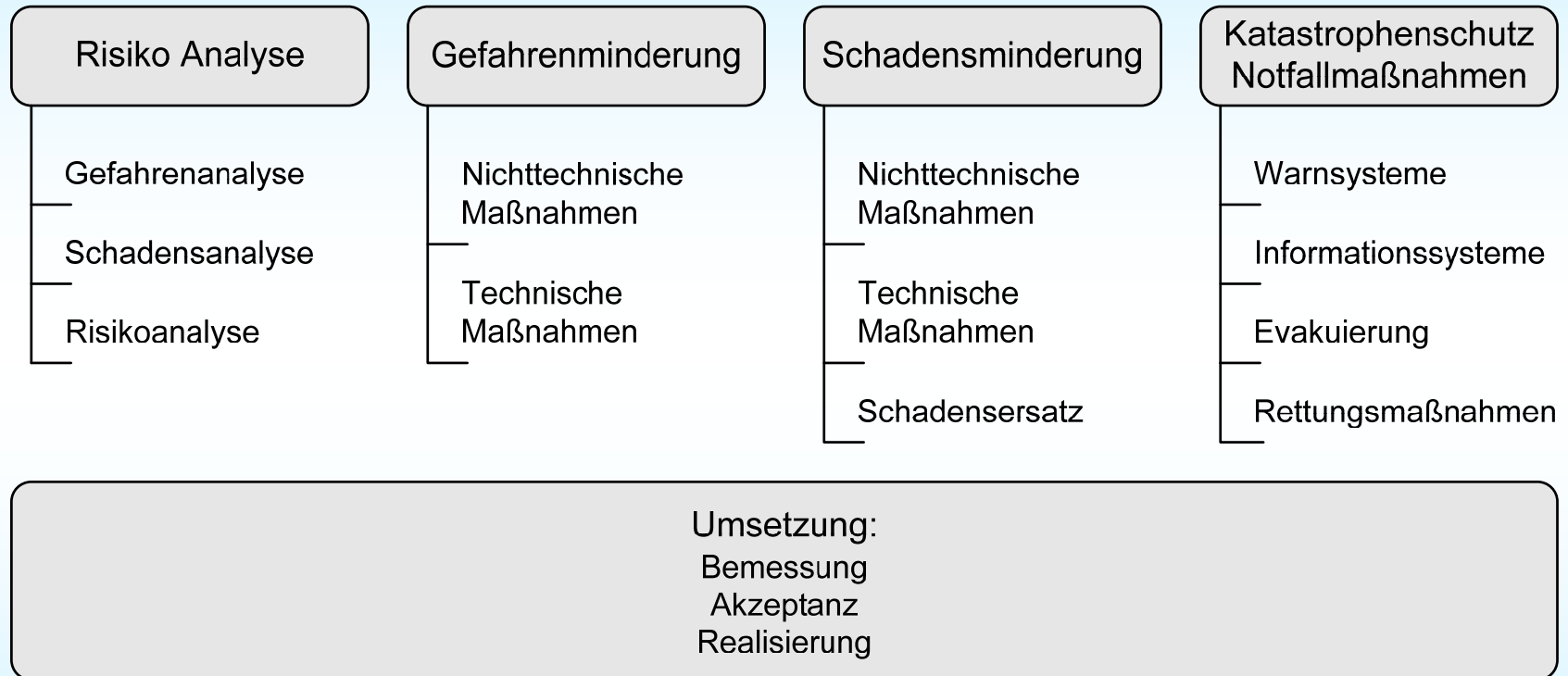
## Aufgabe der Risikoanalyse

- derzeitigen Zustand zu erfassen und
- den mittelfristigen Trend zu beurteilen

Ergebnis sind flussgebietsbezogene Gefahrenzonenpläne

→ Grundlage für Maßnahmen zur Gefahren- und Schadensreduktion

# Integriertes Risikomanagement



# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{X^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$

  
Reduktion der Schäden


## ➤ Maßnahmen zur Kontrolle des Schadens $D(Q)$ :

- Prüfung und Umsetzung der Baurichtlinien
- Abstimmung von Gefährdung und Landnutzung
- Bewusstseinsbildung zur Gefährdung
- Frühwarnsysteme
- Reduktion der Sekundärschäden
- Absiedelung der Betroffenen
- Verbesserte Schätzung des Schadenspotentials

# Optionen des Risikomanagements

---

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{x^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$


Veränderung der Auftrittswahrscheinlichkeit

**Maßnahmen zur Kontrolle der Auftrittswahrscheinlichkeit  $f(Q)$ :**

- Vergrößerung des Rückhaltevermögens
- Berücksichtigung der Interaktion Fluss und Grundwasser
- Reduktion der Unsicherheit in  $f(Q)$
- Berücksichtigung der Sohlstabilität (Sedimenttransport)
- Berücksichtigung der anthropogenen Einflüsse

# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{x^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$

↑  
Änderung des Schutzgrades

**Maßnahmen zur Kontrolle von  $X^*$ :**

- Erhöhung des Schutzniveaus





# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{x^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$

↑  
Änderung des Schutzgrades

## Maßnahmen zur Kontrolle von $X^*$ :

- Erhöhung des Schutzniveaus
- Verbesserung der Zuverlässigkeit des Schutzgrades



# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{x^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$

Änderung des Schutzgrades

## Maßnahmen zur Kontrolle von $X^*$ :

- Erhöhung des Schutzniveaus
- Verbesserung der Zuverlässigkeit des Schutzgrades
- Temporäre Schutzmaßnahmen



# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{x^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$

↑  
Änderung des Schutzgrades

## Maßnahmen zur Kontrolle von $X^*$ :

- Erhöhung des Schutzniveaus
- Verbesserung der Zuverlässigkeit des Schutzgrades
- Temporäre Schutzmaßnahmen
- Kontrollierte Flutung und Entwässerung des Hinterlandes



# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{x^*}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$

Änderung des Schutzgrades

## Maßnahmen zur Kontrolle von $X^*$ :

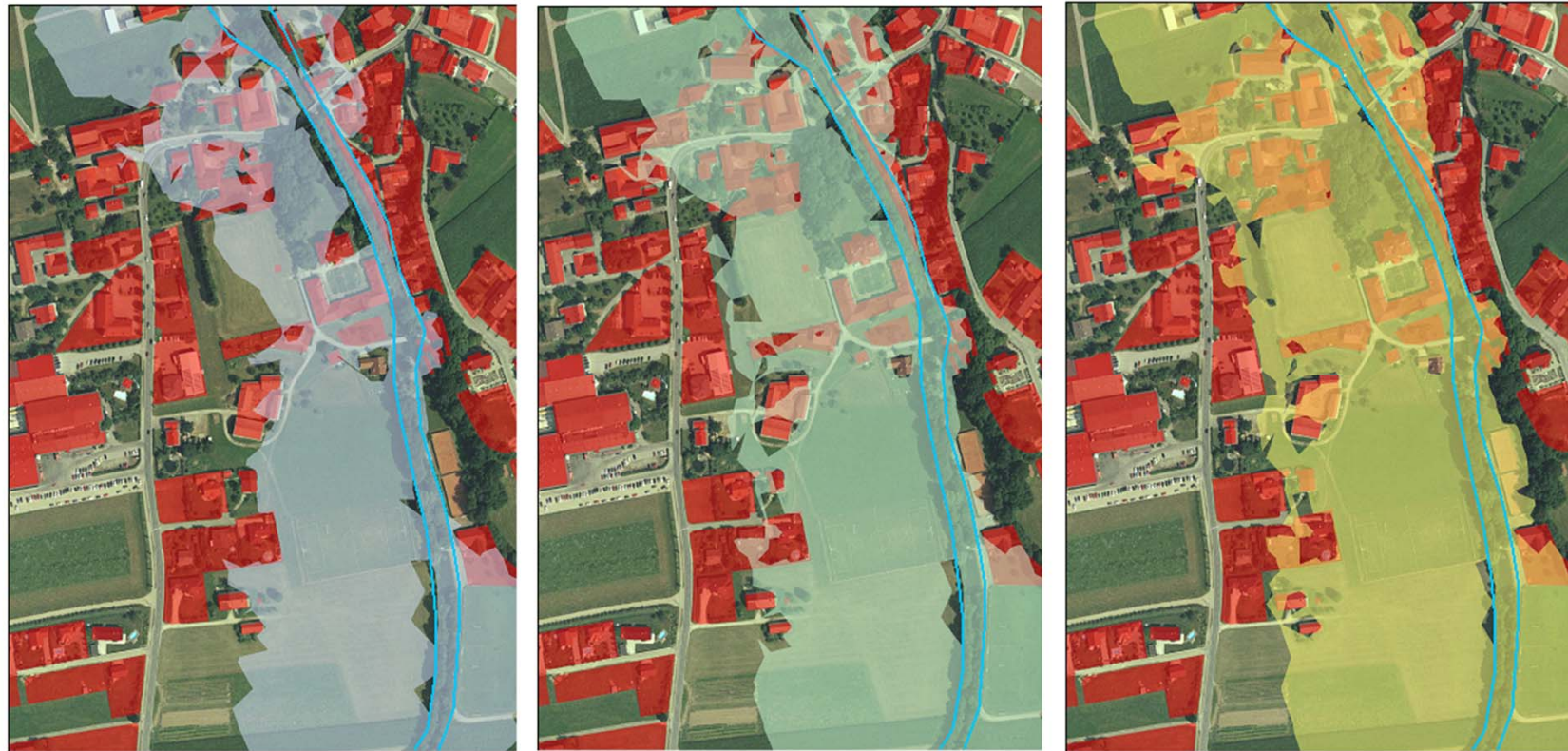
- Erhöhung des Schutzniveaus
- Verbesserung der Zuverlässigkeit des Schutzgrades
- Temporäre Schutzmaßnahmen
- Kontrollierte Flutung und Entwässerung des Hinterlandes



# Optionen des Risikomanagements

Mögliche Maßnahmen

$$R(X^*) = \int_{-\infty}^{\infty} f(Q) \cdot D(Q) dQ$$



# Entscheidung bei unterschiedlichem Risiko

2 Alternativen, deren Ergebnis mit Unsicherheiten behaftet ist

Tab. 5.2: Nettonutzen (in k€) für zwei Alternativen

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
w <sub>1</sub> =33%	6 400	4 900
w <sub>2</sub> =33%	4 100	4 300
w <sub>3</sub> =33%	2 500	3 600

Welche ist zu bevorzugen ?

Die Entscheidung hängt von der Risikobereitschaft ab

Der Erwartungswerte für A<sub>1</sub> ist 4 333 k€, jener für A<sub>2</sub> ist 4 266 k€. Das Bernoulli Kriterium K<sub>1</sub> liefert jene Alternative, bei der K<sub>1</sub> ein Maximum erreicht. Das heißt, im Mittel liegt man richtig (Risiko neutral), was viele vergleichbare Entscheidungen voraussetzt, da ja sonst das Mittel keine Information liefert.

$$K_1 = \text{Max} \{K_{1i}\} = \text{Max} \left\{ \sum w_k A_{ik} \right\}$$

(Glg. 5.5)

# Entscheidungskriterien

---

Bei Risiko freundlicher Haltung (Spekulant) bietet  $A_1$  mit 33 % Wahrscheinlichkeit einen höheren Gewinn, zu etwa 66% ist  $A_2$  besser. Das Kriterium  $K_2$  sucht für eine vorzugebende Wahrscheinlichkeit  $p_0$  den maximalen Nutzen. Für  $p_0 = 33\%$  wäre das dann  $A_1$ , da man damit 6 400 k€ Ertrag haben kann.

$$K_2 = \text{Max} \{K_{2k}\} = \text{Max} (A_{ik} \text{ für } w_k \rangle p_0) \quad (\text{Glg. 5.6})$$

# Entscheidungskriterien

---

Bei Risiko freundlicher Haltung (Spekulant) bietet  $A_1$  mit 33 % Wahrscheinlichkeit einen höheren Gewinn, zu etwa 66% ist  $A_2$  besser. Das Kriterium  $K_2$  sucht für eine vorzugebende Wahrscheinlichkeit  $p_0$  den maximalen Nutzen. Für  $p_0 = 33\%$  wäre das dann  $A_1$ , da man damit 6 400 k€ Ertrag haben kann.

$$K_2 = \text{Max} \{K_{2k}\} = \text{Max} (A_{ik} \text{ für } w_k \rangle p_0) \quad (\text{Glg. 5.6})$$

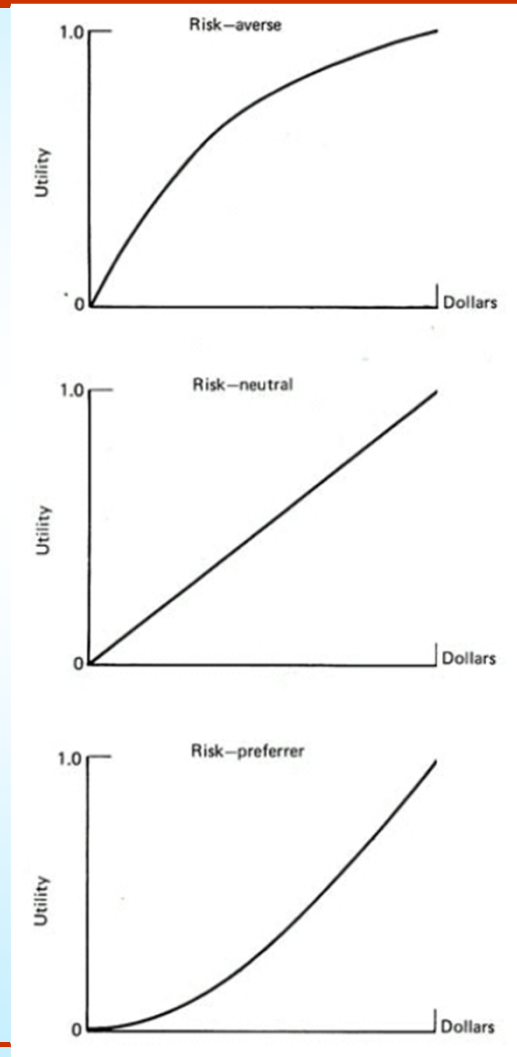
Bei Risiko ablehnender Haltung ergibt sich ein umgekehrtes Bild. Das Neumann-Morgenstern Kriterium  $K_3$  sucht jene Alternative, die im schlechtesten Fall (Angabe eines  $p_0$ ) am besten ist.

$$K_3 = \text{Max} \{K_{3k}\} = \text{Max} \{ \text{Min} (A_{ik}) \text{ für } w_k \rangle p_0 \} \quad (\text{Glg. 5.7})$$

Also wird man daher  $A_2$  wählen. Man verzichtet auf einen möglichen Gewinn, aber man vermeidet in jedem Fall größere Verluste. Diese Strategie ist z.B. für die öffentliche Hand oder bei der Verwaltung von Werten anderer anzuwenden.



# Risikoverhalten



# Nachhaltigkeit

---

# Nachhaltigkeit

---

Von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung wurde 1987 im so genannten Brundtland-Report Nachhaltigkeit wie folgt definiert (WCED, 1987):

*"Sustainable development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."*

*Nachhaltig ist eine Entwicklung, "die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen."*

# Gesellschaftliche Werte

---

Von der Menge zur Qualität

Von der Unsicherheit zur Sicherheit

Von der Information zur Partizipation

# relevante ww. Planungsdokumente

---

WRG Novelle 1985: Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit ist Teil des öffentlichen Interesses

Principles and Standards for Water Resources Planning (US Fed. Law, 1973, 1975)

International Hydrological Programme (1993) Water Our Common Future

A Research Agenda for Sustainable Development of Water Resources

# Principles and Standards

---

Ein Projekt soll folgende Eigenschaften aufweisen:

Wirtschaftlich gerechtfertigt

Gesellschaftlich akzeptabel

Umweltverträglich



**Mehrzielplanung und Management**

INTERNATIONAL  
HYDROLOGY  
SERIES

Sustainability  
Criteria  
for  
Water Resource  
Systems

EDITED BY

Daniel P. Loucks and John S. Gladwell

IWHW

Prepared by a UNESCO  
Working Group

A. Andreu, Spain  
J.J. Bogardi, UNESCO  
J.S. Gladwell, USA  
Y.Y. Haimes, USA  
S. Kaden, Germany  
D.P. Loucks, USA  
J. Kindler, Poland  
H.P. Nachtnebel, Austria  
E. Plate, Germany  
S.P. Simonovic, Canada  
U. Shamir, Israel  
E. Todini Italy

siko in der Planung

# Kriterien für Nachhaltigkeit:

---

Projekt- bzw. fachspezifische Indikatoren



# Kriterien für Nachhaltigkeit:

---

Projekt- bzw. fachspezifische Indikatoren  
Sowie allgemeine Indikatoren, wie  
Niedriges Risiko

# Kriterien für Nachhaltigkeit:

---

Projekt- bzw. fachspezifische Indikatoren

Sowie allgemeine Indikatoren, wie

Niedriges Risiko

Gleiche Verteilung der Nutzen und Kosten auf

- Verschiedene Nutzer
- Interessensgruppen
- Länder
- Generationen

# Kriterien für Nachhaltigkeit:

---

Projekt- bzw. fachspezifische Indikatoren

Sowie allgemeine Indikatoren, wie

Niedriges Risiko

Gleiche Verteilung der Nutzen und Kosten auf

- Verschiedene Nutzer
- Interessensgruppen
- Länder
- Generationen

Umkehrbarkeit

- Beurteilung des Grades der Umkehrbarkeit

# Planungsziele

---

Diese Ziele sind nach Pezzey (1992)

- Effizienz
- Überlebensfähigkeit
- Nachhaltigkeit

Jede mögliche Entscheidung,  $k$ , wird in einer Zeitreihe ( $y$ ) der Nettowohlfahrt  $W(k,y)$  resultieren.  $W_{\min}$  Mindestlevel

$$\text{Max} \left( \sum_y \frac{W(k, y)}{(1+r)^y} \right)$$

# Effizienz

---

Eine Entscheidung  $k$  ist **effizient**, wenn sie den jetzigen und alle zukünftigen Werte der Nettowohlfahrt maximiert.

**Effizienz** setzt die Absicht zur Diskontierung voraus. Hohe Zinssätze tendieren dazu, von Langzeit Maßnahmen abzuraten, während niedrigere Zinssätze Projekte vorziehen, die ökonomisch eher nicht überleben werden und nicht in Umweltschutz investieren.

# Überlebensfähig

---

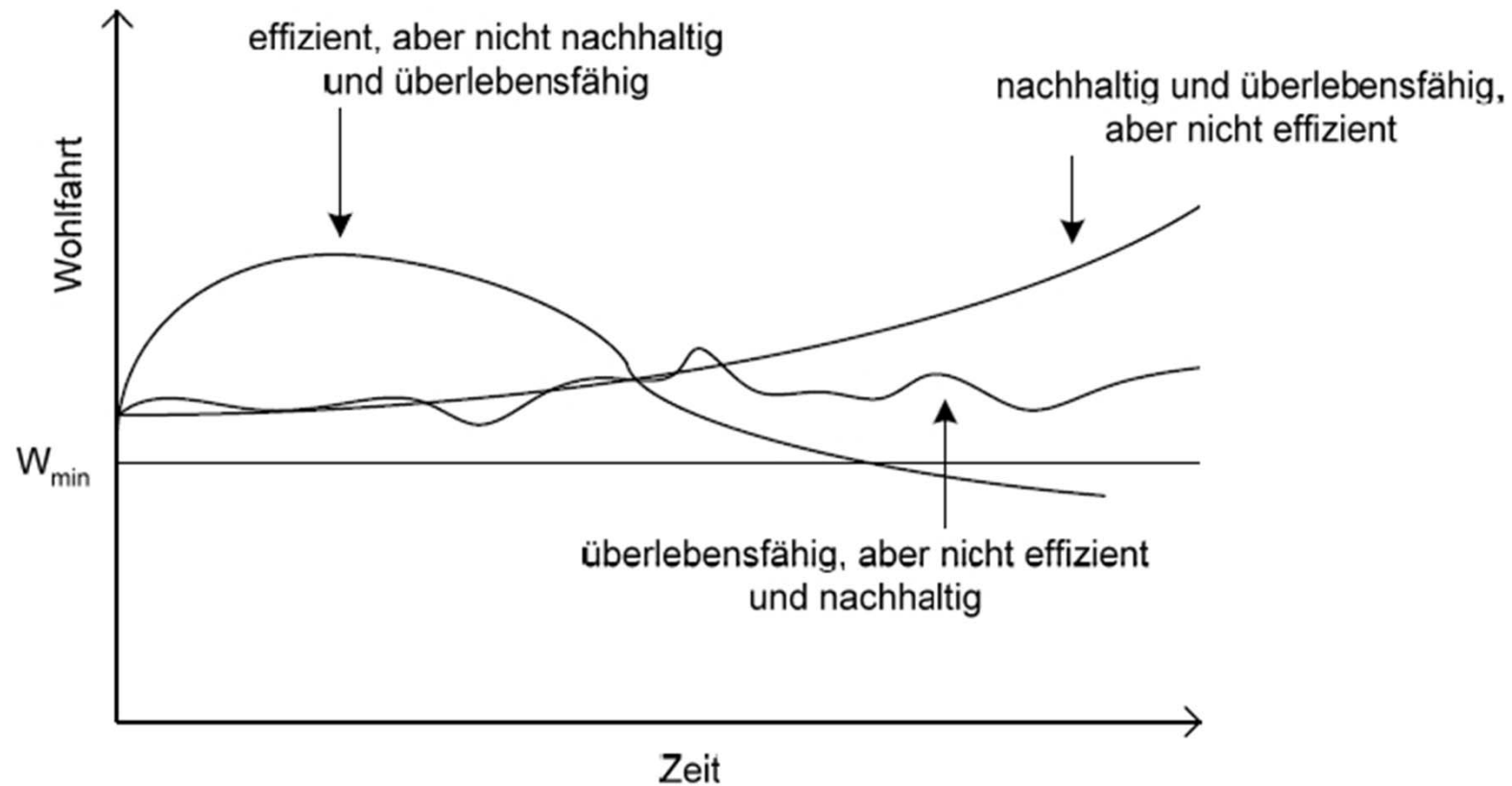
Eine Alternative,  $k$ , kann als **überlebensfähig** bezeichnet werden, wenn in jeder Zeitperiode  $y$  die Nettowohlfahrt nicht kleiner als die fürs Überleben mindestens notwendige Wohlfahrt  $W_{\min}$  ist. Wenn also  $W(k,y) \geq W_{\min}$  ist, ist die Alternative für alle Zeiten überlebensfähig. Eine überlebensfähige Alternative ist jedoch nicht unbedingt effizient oder nachhaltig.

# Nachhaltig

---

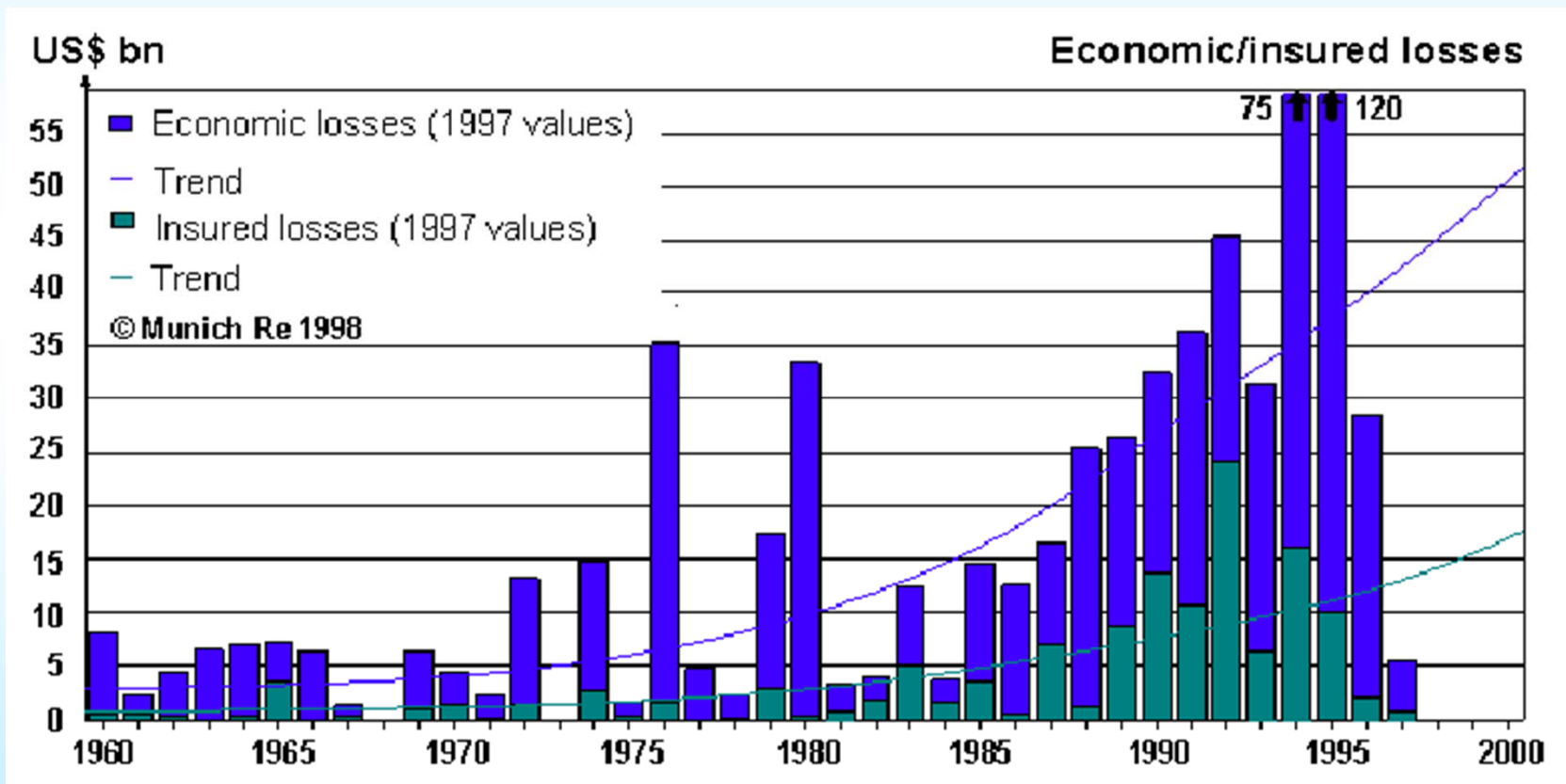
Eine Alternative wird als **nachhaltig** bezeichnet, wenn die durchschnittliche Wohlfahrt der künftigen Generationen nicht weniger als die Wohlfahrt der vorigen Generationen ist. Eine nachhaltige Alternative garantiert, dass es keine Abnahme der Wohlfahrt gibt. In andern Worten, wenn  $W(k,y+1) \geq W(k,y)$  ist, ist die Alternative nachhaltig für alle Zeiten.

# Zeitliche Betrachtung





# Schäden durch Naturereignisse



# Nutzung des Gewässerraumes

---



# Daher

---

Ziele der Wasserwirtschaft

Ökonomie, Ökologie und Soziale Aspekte

# Daher

---

Ziele der Wasserwirtschaft

Ökonomie, Ökologie und Soziale Aspekte

Planungshorizont

mittel- und langfristig, Monitoring

# Daher

---

Erweiterte Ziele der Wasserwirtschaft  
Ökonomie, Ökologie und Soziale Aspekte

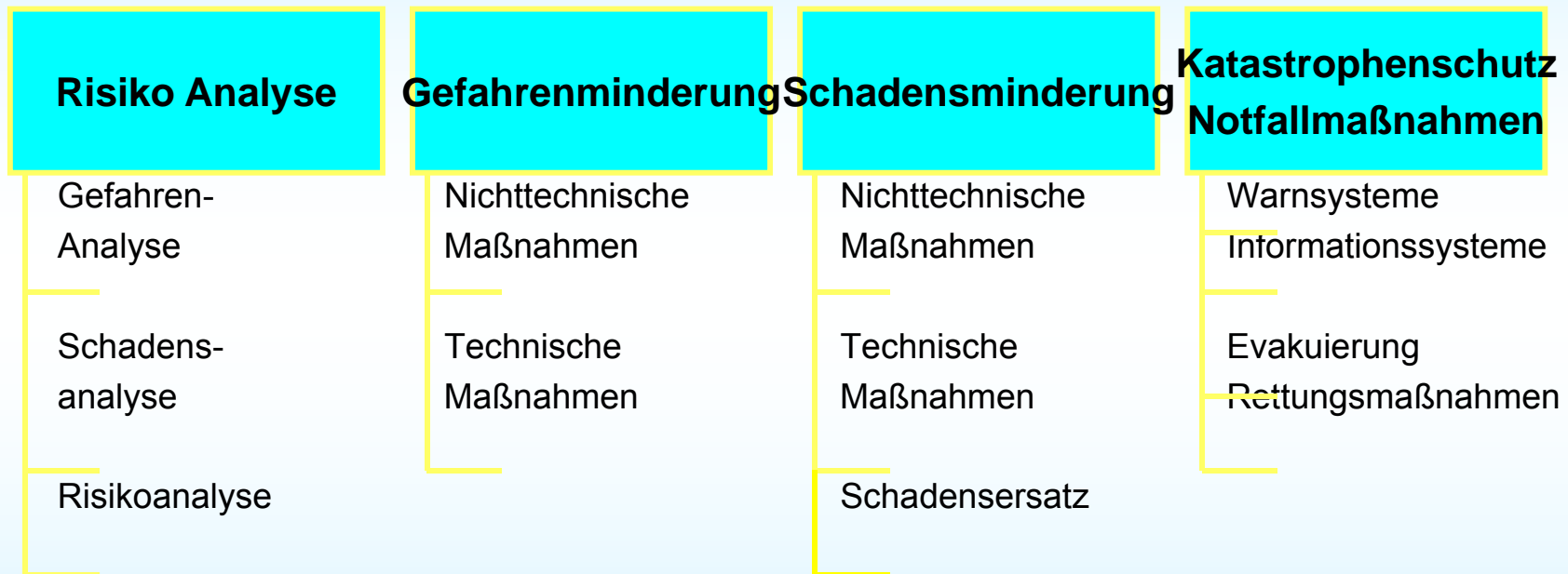
Erweiterter Planungshorizont  
mittel- und langfristig, Monitoring

Erweitertes Planungsgebiet  
das Flussgebiet



➤ **EU- Wasserrahmenrichtlinie und neues WRG**

# Integriertes Risikomanagement



## Umsetzung:

Bemessung  
Akzeptanz  
Realisierung

# Zusammenfassung

---

Gesetze drücken gesellschaftliche Werthaltungen aus  
und regeln Handlungsbereiche

# Zusammenfassung

---

Gesetze drücken gesellschaftliche Werthaltungen aus  
und regeln Handlungsbereiche

Die Veränderungen im WRG spiegeln die  
gesellschaftlichen Veränderungen gut wider



# Zusammenfassung

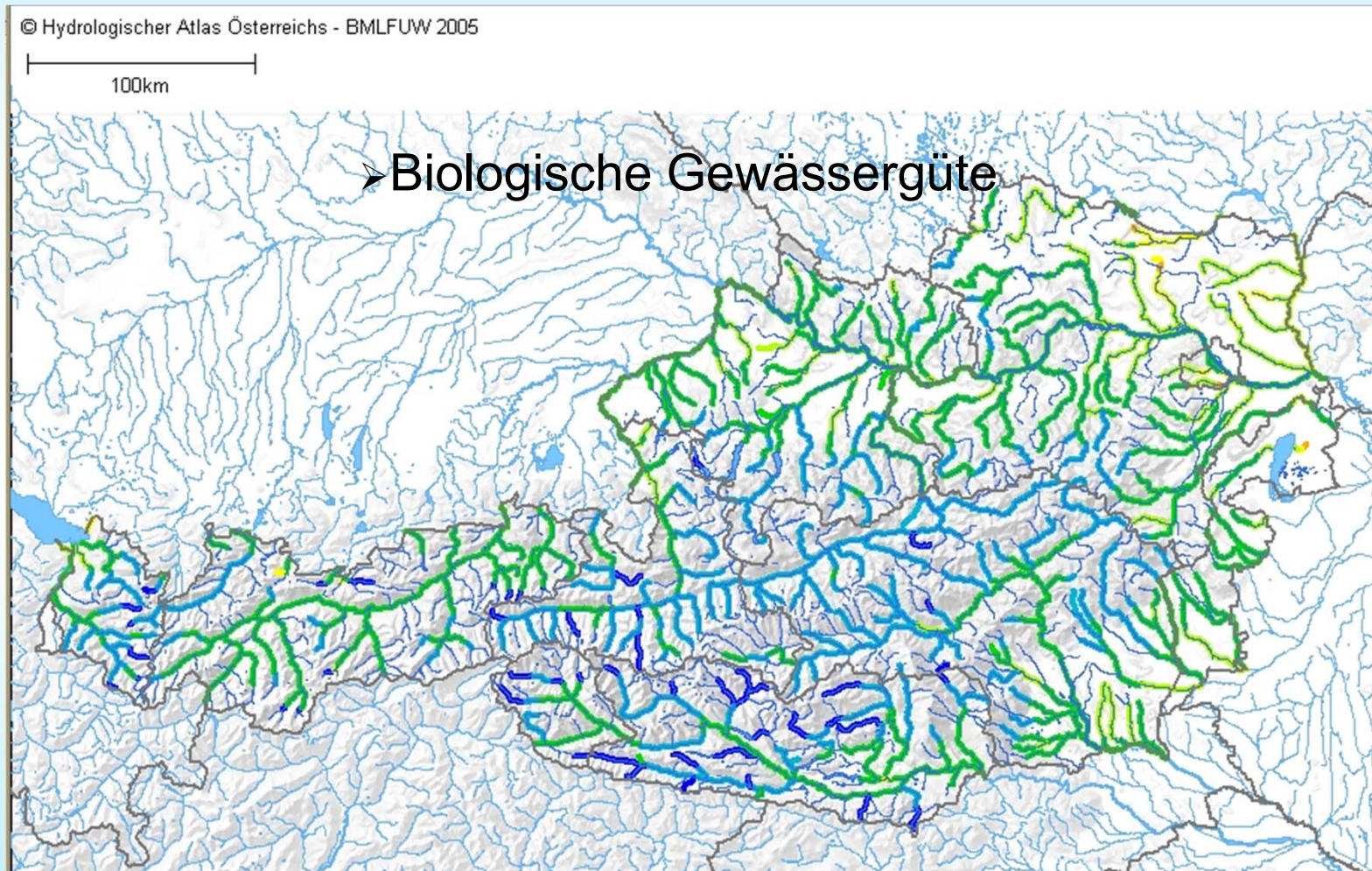
---

Gesetze drücken gesellschaftliche Werthaltungen aus  
und regeln Handlungsbereiche

Die Veränderungen im WRG spiegeln die  
gesellschaftlichen Veränderungen gut wider

Eine klare Tendenz in Richtung integrativer  
Handlungsweisen ist erkennbar

# Zusammenfassung



# Zusammenfassung

---

Gesetze drücken gesellschaftliche Werthaltungen aus und regeln Handlungsbereiche

Die Veränderungen im WRG spiegeln die gesellschaftlichen Veränderungen gut wider

Eine klare Tendenz in Richtung integrativer Handlungsweisen ist erkennbar

Vieles wurde bereits erreicht

Die Wasserwirtschaft benötigt verstärkte Interaktion mit Raumplanung, Infrastrukturentwicklung und den Betroffenen

# Zusammenfassung

---

Maßnahmen sollen  
Risiko reduzieren  
später die Möglichkeit zur Umkehrung des Zustandes  
bieten



# Zusammenfassung

---

Maßnahmen sollen das Risiko reduzieren

(Risiko ablehnend)

die Möglichkeit zur Umkehrung des Zustandes bieten

(Reversibilität)

von den Betroffenen getragen werden

(gesellschaftliche Akzeptanz)