



# **Ein multikriterielles, fuzzy- und risikobasiertes Decision Analysis Modell am Beispiel der Planung unterirdischer Infrastruktur**

Bochum

30.09.2013

*Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sissis Kamarianakis*

## Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und  
Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick



## Übersicht

## Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und  
Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

- Beschreibung und kritische Analyse des Planungsprozesses von Großvorhaben,
- Beschreibung der entscheidungstheoretischen Grundlagen,
- Beschreibung der unscharfen und unsicheren Informationen bei Entscheidungen,
- Erarbeitung eines Entscheidungsmodells unter Berücksichtigung ganzheitlicher Kriterien,
- Analyse eines konkreten Entscheidungsprozesses unter Berücksichtigung des ganzheitlichen Entscheidermodells.

Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und Unsicherheit

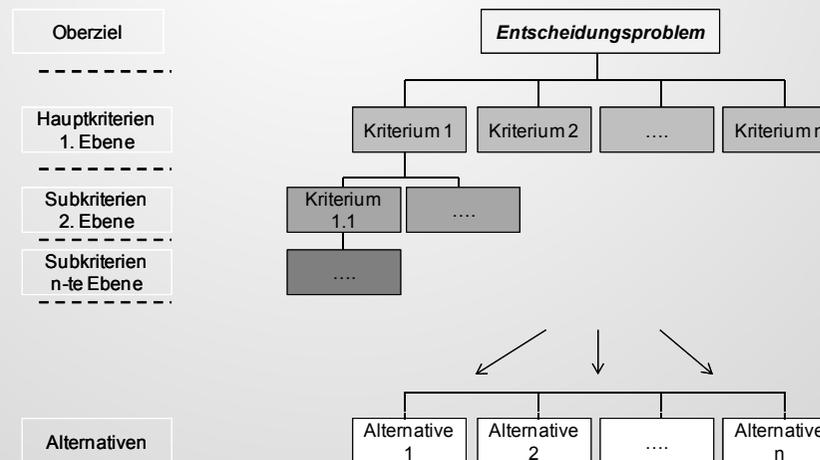
Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

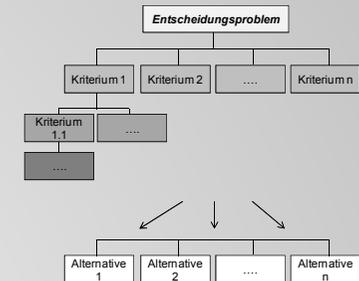
Schlussfolgerung

Ausblick

- Entwicklung in den 70er Jahren durch Thomas L. Saaty
- analytisch arbeiten (mathematische Modelle)
- Aufbau einer Hierarchie Ebenenbildung (Ziel, Kriterien, Alternativen)
- Entscheidung als Prozess (Strukturierung und Analyse der Entscheidungen)
- Charakteristikum: qualitativ und quantitativ einsetzbar
- 9-Punkte Bewertungsskala



## Vergleich der Kriterien (untereinander)



Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

	Definition	Interpretation
1	Gleiche Bedeutung	Beide verglichenen Elemente haben die gleiche Bedeutung für das nächsthöhere Element
3	Etwas größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine etwas größere Bedeutung eines Elements im Vergleich zu einem anderen.
5	Erheblich größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine erheblich größere Bedeutung eines Elements im Vergleich zu einem anderen.
7	Sehr viel größere Bedeutung	Die sehr viel größere Bedeutung eines Elements hat sich in der Vergangenheit klar gezeigt.
9	Stark dominierend	Es handelt sich um den größtmöglichen Bedeutungsunterschied zwischen zwei Elementen.
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte	

## Vergleich der Alternativen

$$w_i = \frac{a_i}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

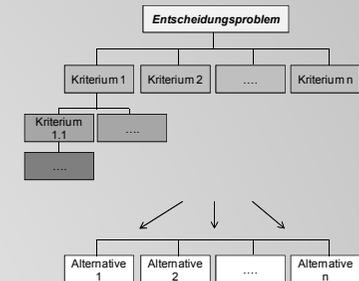
$$w_i = \frac{\frac{1}{a_i}}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n}}$$

quantitativ

9-Punkte Skala

qualitativ

## Berechnung der Kriteriengewichte



**Übersicht**

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

Attribute	$A_1$	$A_2$	$A_n$	Normierte Evaluationsmatrix			Zeilen-summe $\sum r_i$	Normierter Eigenvektor $w_i$
				$A_1$	$A_2$	$A_n$		
$A_1$	$A_{11} = 1$	$A_{12}$	$A_{1n}$	$\frac{A_{11}}{C_1}$	$\frac{A_{12}}{C_2}$	$\frac{A_{1n}}{C_n}$	$r_1$	$w_1 = \frac{r_1}{n}$
$A_2$	$A_{21} = \frac{1}{A_{12}}$	$A_{22} = 1$	$A_{2n}$	$\frac{A_{21}}{C_1}$	$\frac{A_{22}}{C_2}$	$\frac{A_{2n}}{C_n}$	$r_2$	$w_2 = \frac{r_2}{n}$
$A_n$	$A_{n1} = \frac{1}{A_{1n}}$	$A_{n2} = \frac{1}{A_{2n}}$	$A_{nn} = 1$	$\frac{A_{n1}}{C_1}$	$\frac{A_{n2}}{C_2}$	$\frac{A_{nn}}{C_n}$	$r_n$	$w_n = \frac{r_n}{n}$
Spalten-summe $\sum C_i$ :	$C_1 = \sum_{i=1}^n A_{i1}$	$C_2 = \sum_{i=1}^n A_{i2}$	$C_n = \sum_{i=1}^n A_{in}$	1	1	1	n	1

## Konsistenzprüfung

Aufgrund Wertevergabe kann es zu Inkonsistenz kommen  
 z.B. A **3x** wichtiger als B, B **2x** wichtiger als C und A **3x** wichtiger als C (wobei es eigentlich **6x** sein müsste)

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI$$

Anzahl der Kriterien	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI-Wert	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

**Übersicht**

Motivation

**Entscheidungstheorie**

Unschärfe und Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

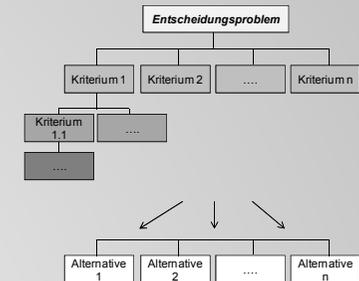
Schlussfolgerung

Ausblick

## Bewertung der Alternativen

$$w_{rel}(i) = w_n \cdot w_{n-1}$$

Jeder Gewichtungsvektor wird für jede Alternative ebenenübergreifend miteinander multipliziert, so dass eine normierte Gesamtgewichtung berechnet wird (100%).



## Sensitivitätsanalyse

- Veränderung einzelner Kriterien
- Konkretes Beispiel folgt

Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und Unsicherheit

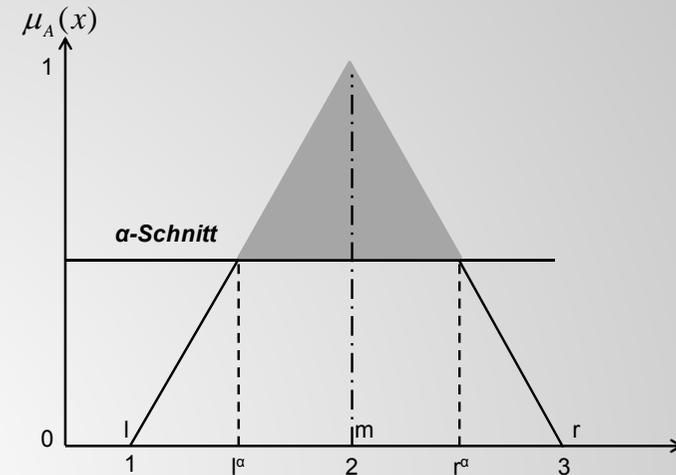
Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & \text{wenn } x \in [l, m] \\ \frac{r-x}{r-m} & \text{wenn } x \in [m, r] \\ 0 & \text{wenn } x \notin [l, r] \end{cases}$$



- Verknüpfung AHP mit Fuzzy
- Nutzung eines Alpha-Cut  $\alpha$  und eines Optimismus-Index  $\lambda$
- Theorie von Cheng et al.
- Ergebnisse können in Abhängigkeit des Optimismus-Index und Alpha-Cuts dargestellt werden
- Die Theorie stellt für einen Entscheider leicht zu verstehende Bandbreiten zur Verfügung

Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und Unsicherheit

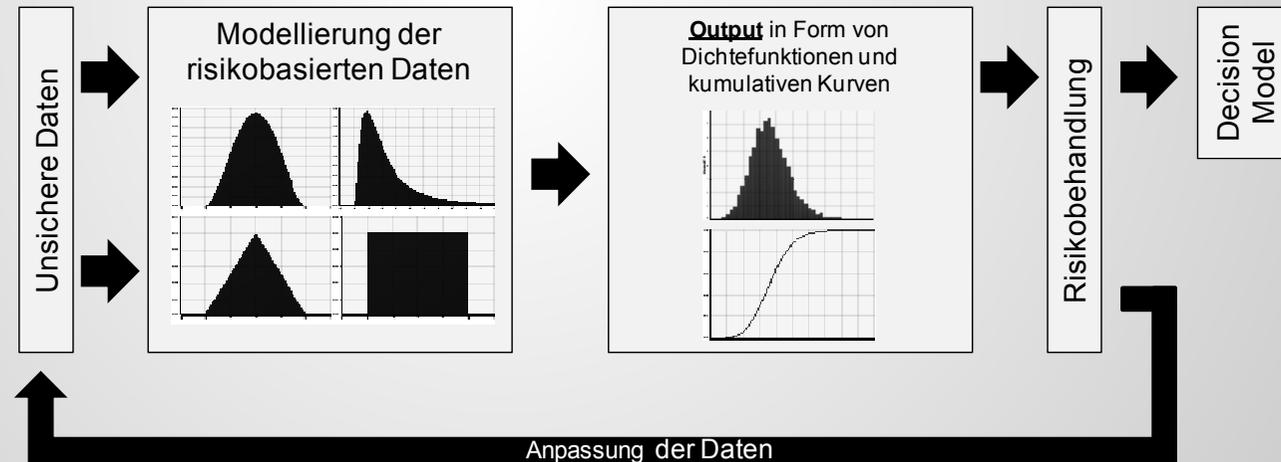
Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

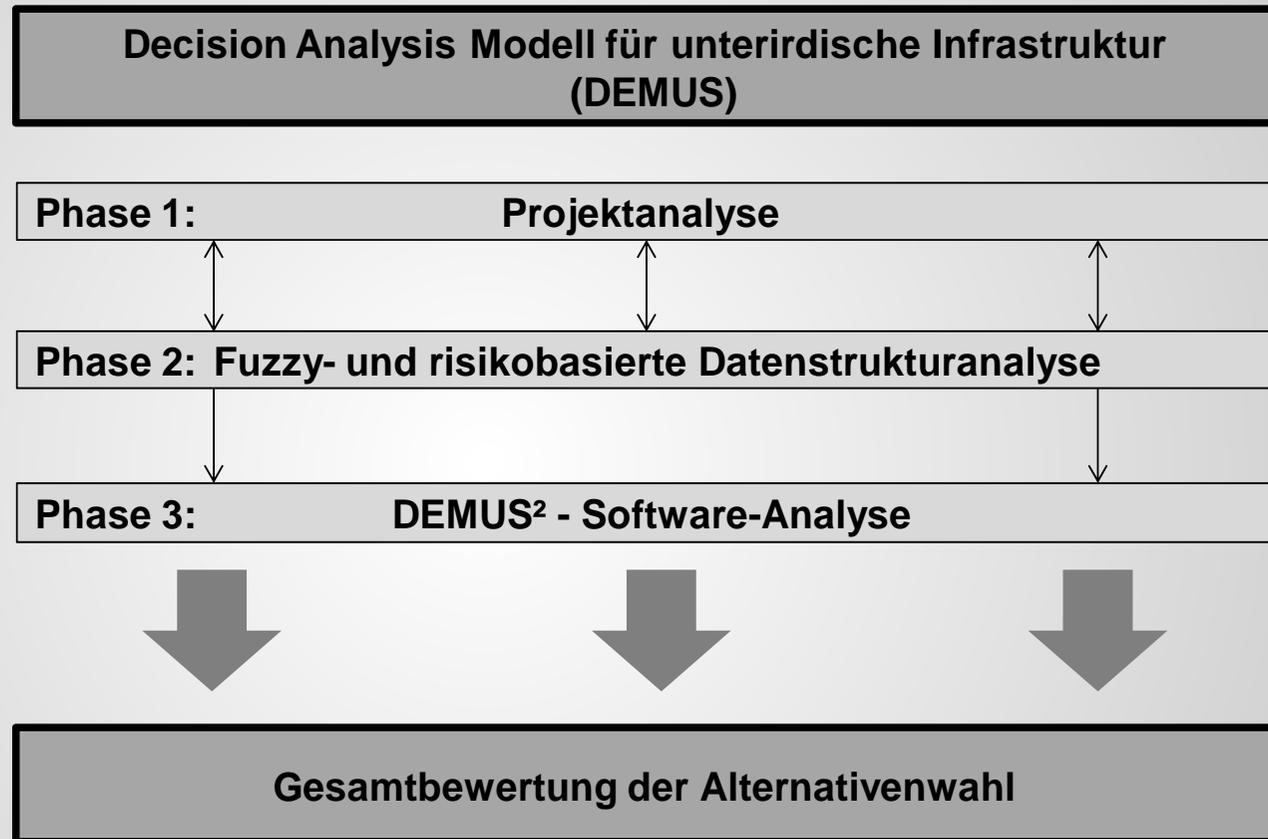
Schlussfolgerung

Ausblick

- Identifizierung von risikobehafteter Komponenten
- Schätzung der Verteilungen
- Zufallszahlen werden generiert bzw. gezogen
- Integration von Expertenbefragungen
- Darstellung von Eintrittswahrscheinlichkeiten
- Darstellung von Auswirkungen bestimmter Größen



- Übersicht
- Motivation
- Entscheidungstheorie
- Unschärfe und Unsicherheit
- Entscheidungsmodell
- Praxisbeispiel
- Schlussfolgerung
- Ausblick



## Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und  
Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

DEMUS - Decision Management for Underground Infrastructure

Alternativenvergleich

3. Ebene

Initialkosten

Quantitativ

scharf

Negativ

Alternative 1: 1000.0

Alternative 2: 2000.0

Alternative 3: 3000.0

Berechnen

Berechnung

Alternative	Gewichtung
Alternative 1	0.545
Alternative 2	0.273
Alternative 3	0.182

Fertig

Zu bewertende Kriterien

Eingabe ,scharf'

Eingabe der Daten

Normiertes Ergebnis

## Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

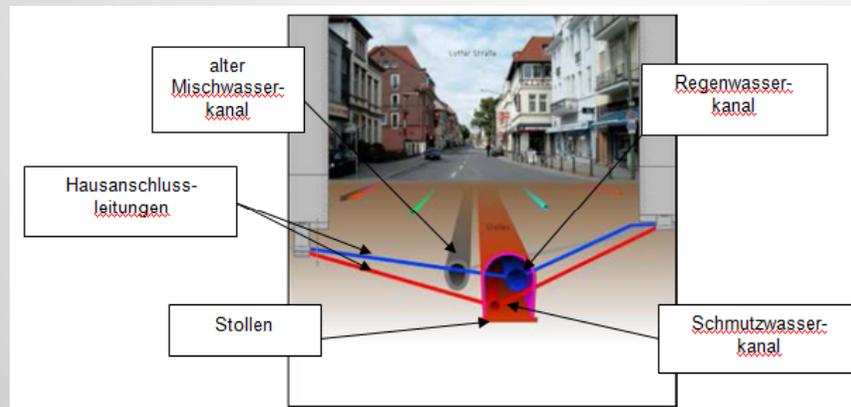
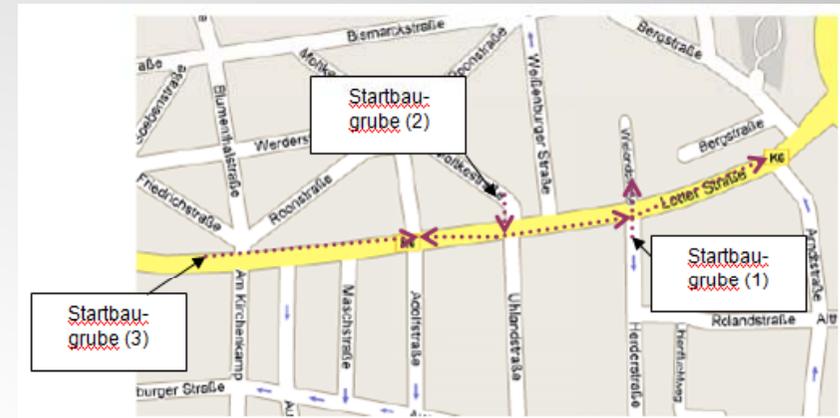
Unschärfe und  
Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

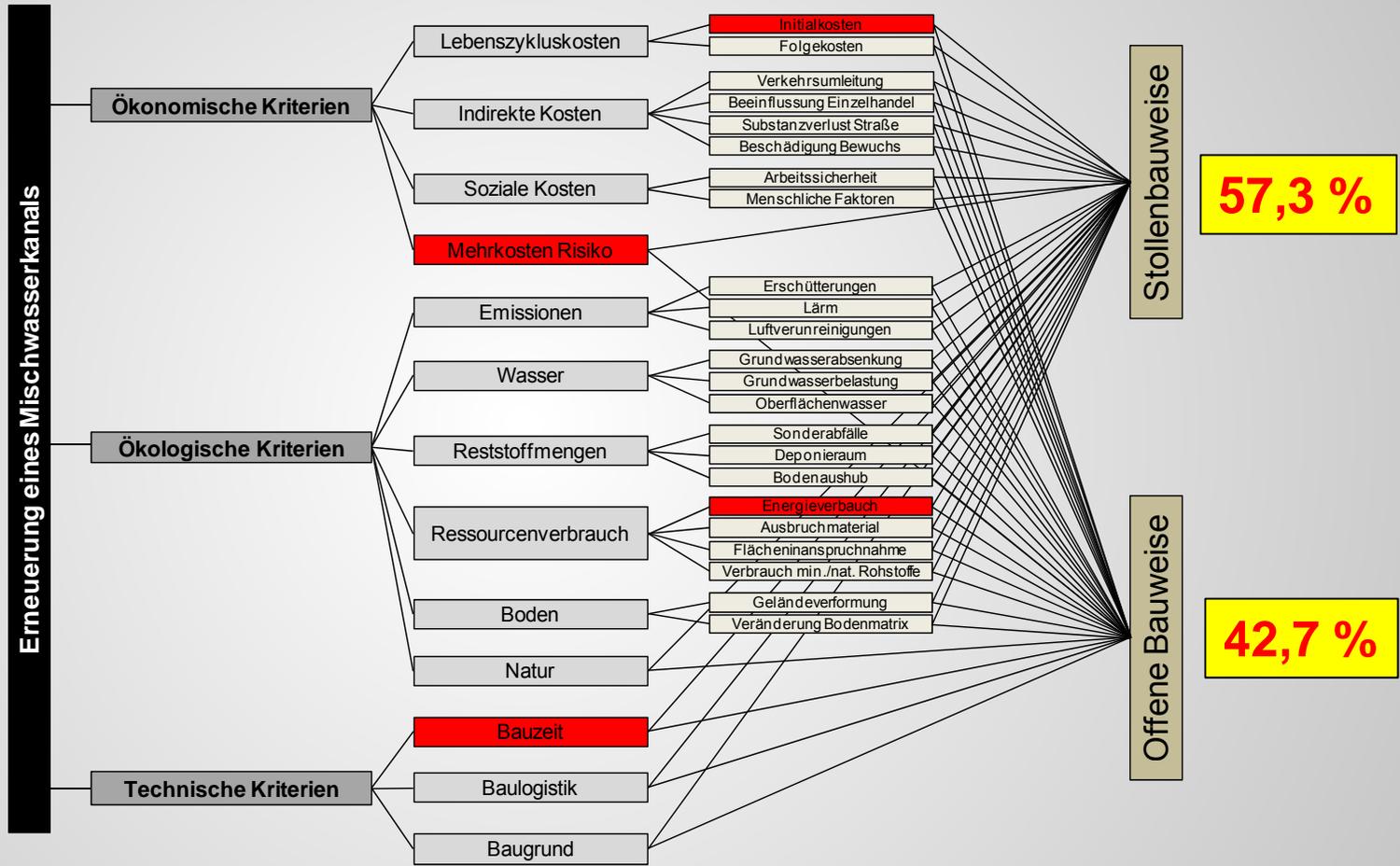
Schlussfolgerung

Ausblick



**Übersicht**

- Motivation
- Entscheidungstheorie
- Unschärfe und Unsicherheit
- Entscheidungsmodell
- Praxisbeispiel**
- Schlussfolgerung
- Ausblick



## Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

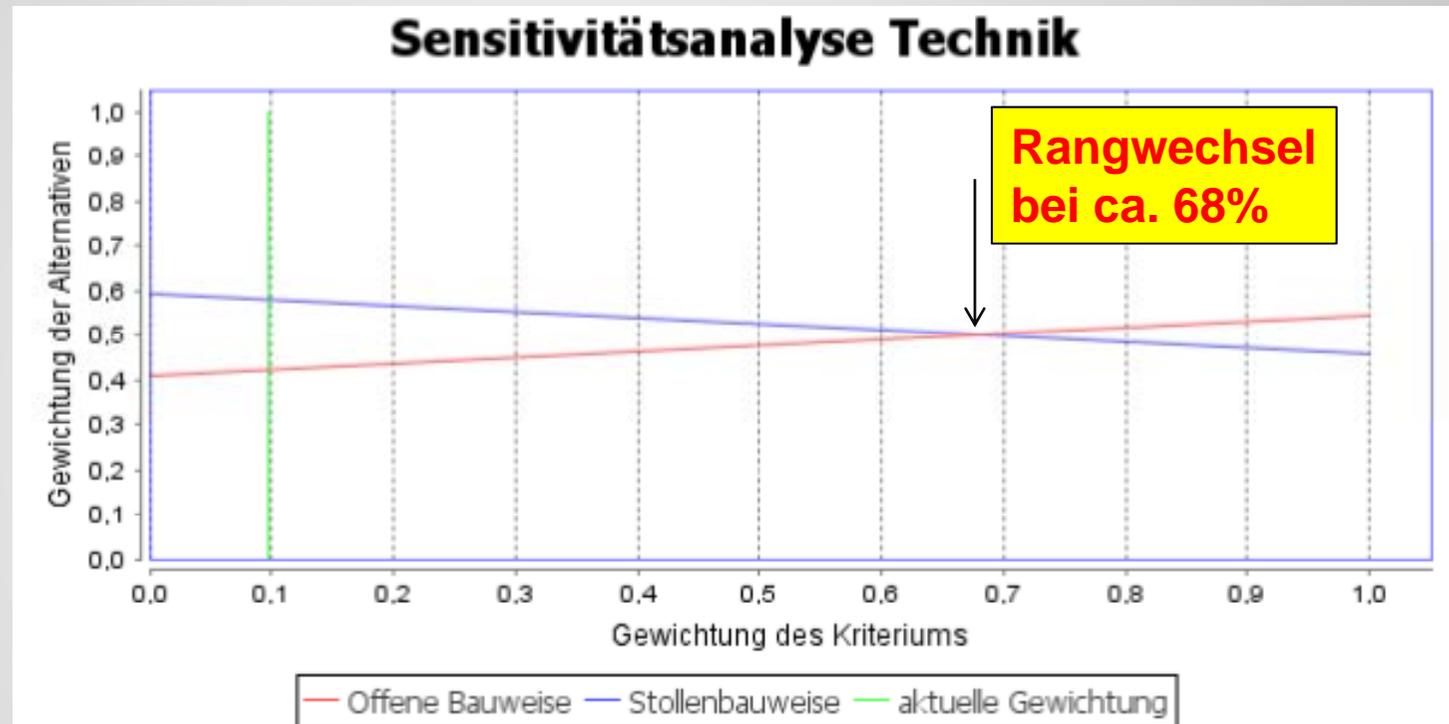
Unschärfe und  
Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick



## Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und  
Unsicherheit

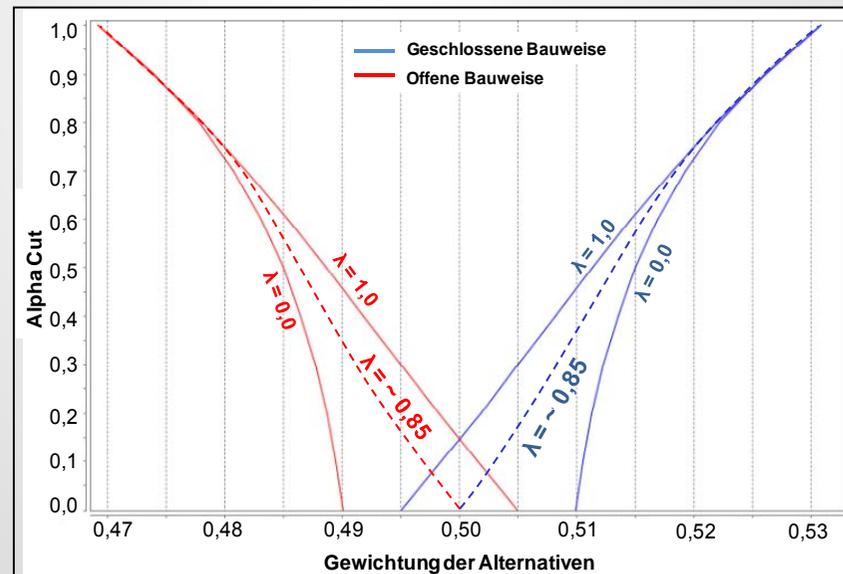
Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

- Nacheinander werden die einzelnen Aspekte hinzugefügt
  1. Risikobasierte Initialkosten und Mehrkosten
  2. Folgekosten (Präferenz OB) + Bauzeit
  3. Zusätzlich qualitative unscharfe Kriterienvergleiche der 1., 2. und 3. Ebene (mit LZK)



Szenario ‚OB 10%/GB 90%‘

## Übersicht

Motivation

Entscheidungstheorie

Unschärfe und  
Unsicherheit

Entscheidungsmodell

Praxisbeispiel

Schlussfolgerung

Ausblick

- Berücksichtigung von Unschärfe und Unsicherheit führt zu differenzierten Ergebnissen
  - Qualität der Informationen lässt sich festlegen
  - Erhöhung der Transparenz und der Akzeptanz
  - Perspektiven der Entscheider darstellbar
- 
- Nutzung des Modells in der Planungsphase befindlicher Projekte
  - Aufbau von Datenbanken, Kriterienkataloge
  - Erweiterung der Fragestellung z.B. um den Aspekt Lebenszykluskosten (Integration der Ergebnisse von Vogt)
  - Erweiterung des risikoanalytischen Ansatzes (Integration von Nutzer- und Bauwerksrisiken)



*Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit*

Alternativenvergleiche			
Kriterien	Bewertung mit AHP-Skala bzw. Daten *	Offene Bauweise [in %]	Stollenbauweise [in %]
Mehrkosten Risiko	Dateneingabe	16,70	83,30
Natur	3	25,00	75,00
Bauzeit	Dateneingabe	55,60	44,40
Baulogistik	1	50,00	50,00
Baugrund	1	50,00	50,00
Initialkosten	Dateneingabe	50,01	49,99
Folgekosten	1	50,00	50,00
Verkehrsumleitung	9	10,00	90,00
Beeinflussung Einzelhandel	4	20,00	80,00
Substanzwertverlust Straße	1	50,00	50,00
Beschädigung Bewuchs	1	50,00	50,00
Arbeitssicherheit	1	50,00	50,00
Menschliche Faktoren	1	50,00	50,00
Erschütterungen	2	33,33	66,67
Lärm	4	20,00	80,00
Luftverunreinigungen	3	25,00	75,00
Grundwasserabsenkung	1	50,00	50,00
Grundwasserbelastung	1	50,00	50,00
Oberflächenwasser	1	50,00	50,00
Sonderabfälle	2	33,33	66,67
Deponieraum	2	33,33	66,67
Bodenaushub	2	33,33	66,67
Energieverbrauch	Dateneingabe	35,80	64,20
Ausbruchmaterial	2	33,33	66,67
Flächeninanspruchnahme	2	33,33	66,67
Verbrauch min./nat. Rohstoffe	1	50,00	50,00
Geländeformung	2	66,67	33,33
Veränderung Bodenmatrix	2	33,33	66,67
<b>Gesamtbewertung nach DEMUS<sup>2</sup></b>	<b>Gesamtbewertung nach DEMUS<sup>2</sup></b>	<b>42,19</b>	<b>57,81</b>
* <b>Grüner Wert</b> = Präferenz ‚Stollenbauweise‘ <b>Roter Wert</b> = Präferenz ‚Offene Bauweise‘ <b>Wert 1</b> = Keine Präferenz			