

# Gesellschaftliche Relevanz von Klimaanpassungsprojekten und die Beurteilung deren Wirtschaftlichkeit

Fachtagung „Klimawandelgerechte Stadtentwicklung“  
Jena, 8. November 2012

*Oliver Gebhardt, Volker Meyer, Miriam Brenck, Bernd Hansjürgens*

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ  
Department Ökonomie

# Gliederung

1. Vorbemerkungen
2. Vorgehen Bewertung & Priorisierung
3. Bewertungsinstrument PRIMATE
4. Fallbeispiel Leutra-Rechen
5. Resümee

# 1. Vorbemerkungen

## *Hintergrund*

- Klimaanpassung auf strategischer Ebene und in praktischer Umsetzung
- Entscheidungsträger um **wirtschaftliche Lösungen** bemüht
- Berücksichtigung verschiedener Arten von **Unsicherheit** notwendig

## *Fragestellung*

Welches ist die geeignetste Anpassungsmaßnahme bzw. mit welcher **Priorität** sollten Maßnahmen umgesetzt werden?

## *Zielsetzung*

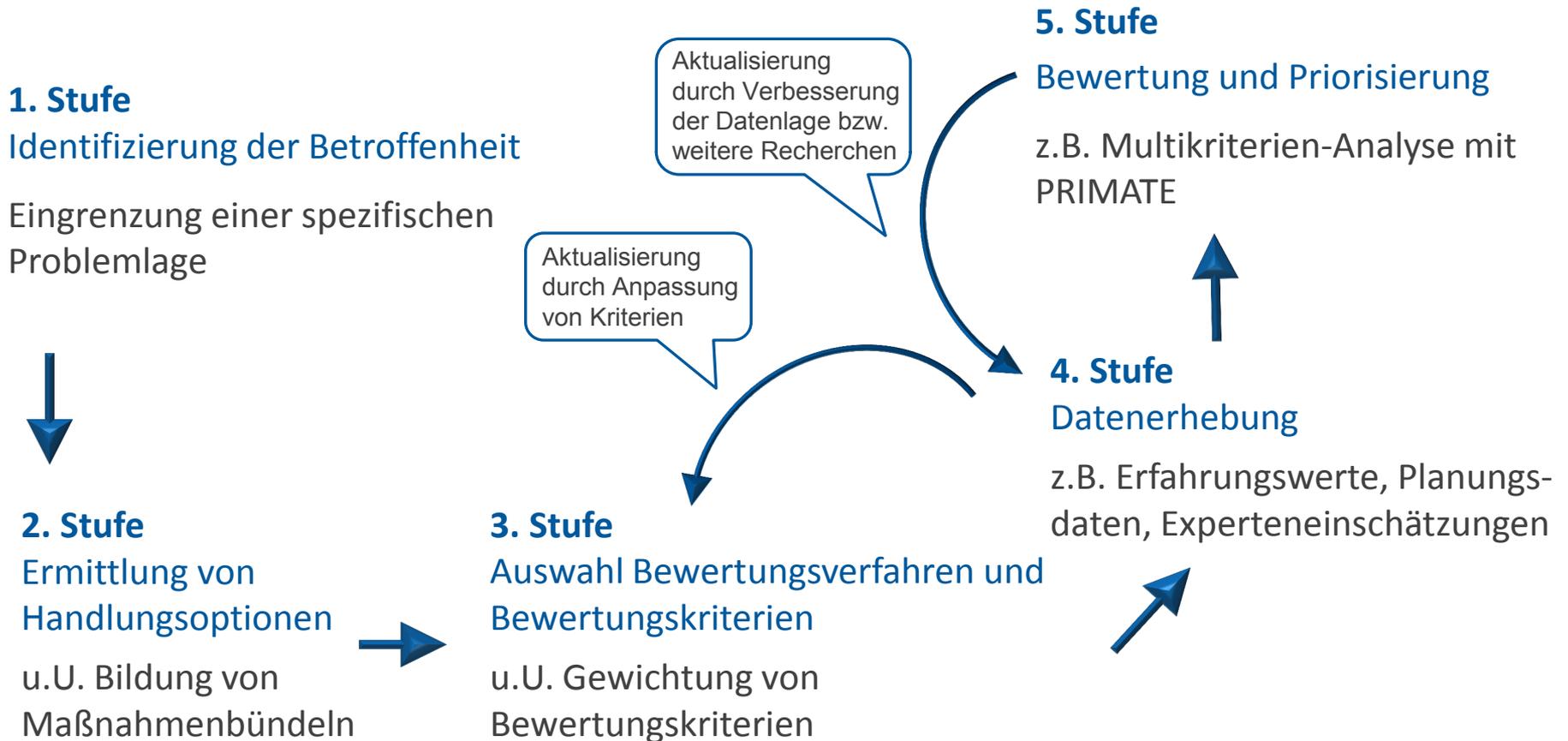
Unterstützung von Entscheidungsträger durch

- Erhöhung der **Transparenz** im Abwägungsprozess
- Aufzeigen von **Handlungsspielräumen**

# 1. Vorbemerkungen

- **Status-quo** und **No regret-Orientierung**, d.h. Fokussierung auf bereits bestehende (negative) Betroffenheiten, deren Verschärfung im Zuge des Klimawandels erwartet wird
- Besondere Relevanz von (sommerlichen) **Hitze-, Trockenperioden** sowie **Starkregenereignissen**
- Berücksichtigung der **Interessen verschiedener Anspruchsgruppen** bei der Entscheidungsfindung
- Möglichst **geringe Datenbeschaffungsanforderungen** und **Verwendung „unsicherer“ Daten**
- **Angebote zur Entscheidungsunterstützung** in Form von Handbüchern, Leitfäden und Tools
  - UFZ-Leitfaden in Kombination mit Anwendung des multikriteriellen Bewertungsinstruments PRIMATE

# 2. Vorgehen Bewertung & Priorisierung: UFZ-Leitfaden



# 2. Vorgehen Bewertung & Priorisierung: UFZ-Leitfaden

## Linke Spalte

--> **Erläuterung** des Prozesses und Formulierung von Fragen als **Handlungsanleitung**

## Rechte Spalte

--> **Veranschaulichung** des Prozesses anhand eines **Fallbeispiels**

### Stufe 1: Identifikation der Betroffenheit

#### Eingrenzen der Problemlage

- Welcher Problemlage soll mit den Maßnahmen begegnet werden?
- Welche Schäden sind bereits aufgetreten oder werden im Zuge des Klimawandels erwartet?
- Welche Sektoren und Gebiete sind betroffen?

#### 1.1 Möglichkeiten der Abschätzung von Betroffenheiten

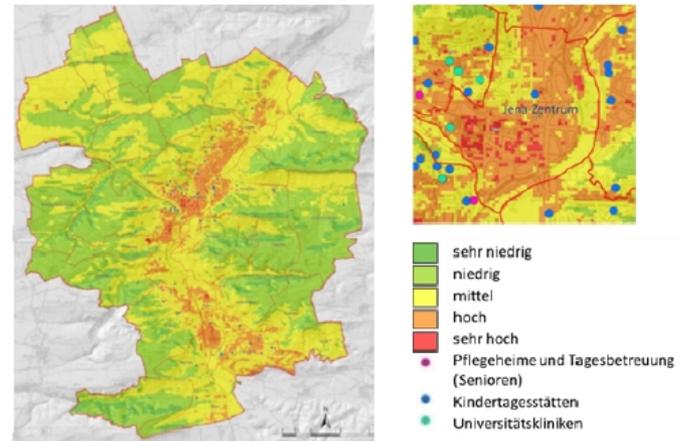
- Analyse vergangener Schadensereignisse, wie z.B. durch Auswertung der Einsatzprotokolle von Katastrophenschutz, Feuerwehr etc.
- Auswertung bestehender Risiko- und Vulnerabilitätsstudien
- Diskussion der möglichen Betroffenheit durch den Klimawandel mit Fachplanungen in Landkreis und Kommune: Stadtplanung, Bau, Verkehr, Katastrophenschutz, Gesundheit, Forst und Landwirtschaft

### Fallbeispiel Stufe 1

#### FB Abschätzung der Betroffenheit

- Jena ist in den Sommermonaten, v.a. im Bereich der Stadtmitte, mit dem Problem der Überhitzung konfrontiert
- Geschützte Tallage und umliegende Kalksteinhänge befördern warmes Mikroklima
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,2K in den letzten 100 Jahren
- Vorliegende Klimaprojektionen lassen weitere Verschärfung der thermischen Belastung erwarten
  - Verstärkter Temperaturanstieg projiziert
  - Zunahme der heißen Tage ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) von 10-12 Tage/Jahr auf bis 19-20 Tage/Jahr bis 2050 (STAR, WETTREG2010)

*Überhitzungsgefährdung Stadtgebiet Jena auf Basis von Versiegelungsgrad, Baustruktur, Globalstrahlung, lokalen und regionalen Windsystemen*



Quelle: ThINK (2011): JenKAS-Projekt.

### 3. PRIMATE: Methodische Grundlagen

- Probabilistic Multi-Attribute Evaluation – **PRIMATE** am UFZ unter Leitung von M. Drechsler entwickelt, überarbeitet und erweitert
- Unterstützung bei Durchführung von **KNA** und **MKA** (PROMETHEE)

#### *Kosten-Nutzen-Analyse (KNA)*

- Voraussetzung: Entscheidungskriterium **Nettonutzen** oder **Kosten-Nutzen-Verhältnis**, Kosten und Nutzen lassen sich in **monetären Einheiten** angeben
- **Kosten** werden vermiedenen Schäden als Nutzen gegenübergestellt
- Ermittlung **Nettonutzen** (Nutzen – Kosten) für einzelne Maßnahmen
- Wahl der Option mit **höchstem Nettonutzen** o. **besten Kosten-Nutzen-Relation**

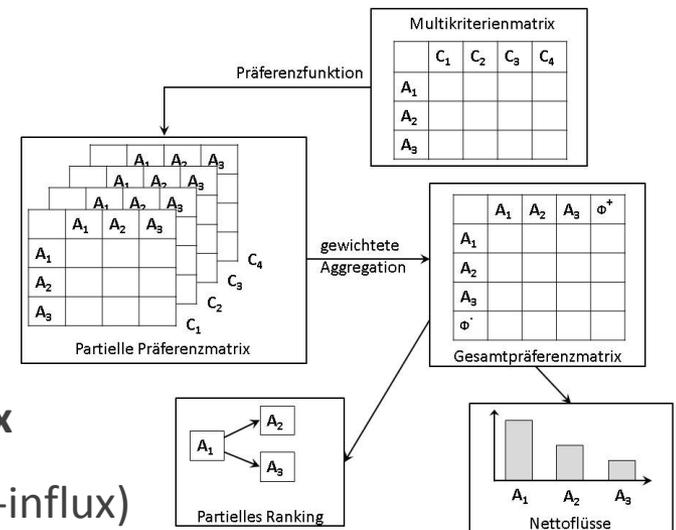
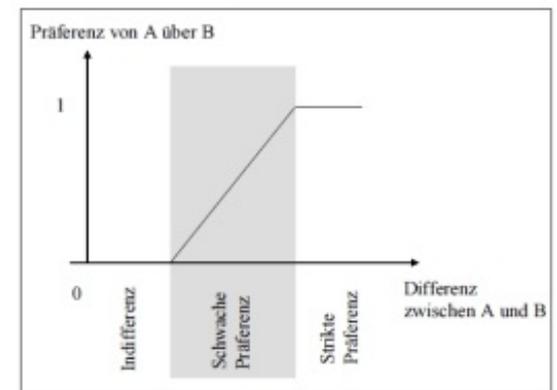
#### *Multi-Kriterien-Analyse (MKA)*

- Abwägung verschiedener Handlungsoptionen unter Berücksichtigung **mehrerer Entscheidungskriterien**
- Nutzung unterschiedlich skalierten der Kosten- und Nutzenkriterien möglich
- Anwendung zur Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen sehr geeignet

# 3. PRIMATE: Methodische Grundlagen

## Outranking-Verfahren: PROMETHEE

- **Paarweiser Vergleich aller Handlungsalternativen** über alle Bewertungskriterien durch Bildung von Differenzen der Kriterienwerte
- **Festlegung** von Präferenzwert (=1), Indifferenzwert (=0) und funktionalem Verlauf der **Präferenzfunktion** zwischen diesen Werten (bspw. linear)
- Überführung von **Kriterienwert-Differenzen** in Präferenzwerte = **Präferenzmatrix** des jeweiligen Bewertungskriteriums
- **Gewichtete Aggregation** der partiellen Präferenzmatrizen zu Gesamtpräferenzmatrix (GPM)
- Ermittlung **Ausgangsflüsse** (outflux  $\triangleq$  Zeilensumme GPM): Stimmen „für“ Alternative
- Ermittlung **Eingangsflüsse** (influx  $\triangleq$  Spaltensumme GPM): Stimmen „gegen“ Alternative
- PROMETHEE I: **Ranking** auf Basis von **ouflux** und **influx**
- PROMETHEE II: **Ranking** auf Basis von **netflux** (outflux-influx)



# 3. PRIMATE: Methodische Grundlagen

## Outranking-Verfahren: PROMETHEE

- **Paarweiser Vergleich aller Handlungsalternativen** über alle Bewertungskriterien

Exemplarische Gesamt-Präferenzmatrix in PRIMATE

	AP	W	BD	BF	BP	VM	VB	VD	F+	
Maßnahmen →	AP	0	0.422	0.169	0.252	0.310	0.297	0.080	0.453	1.985
	W	0.027	0	0.134	0.201	0.184	0.184	0.054	0.241	1.028
	BD	0.064	0.435	0	0.125	0.218	0.276	0.032	0.375	1.527
	BF	0.044	0.387	0.025	0	0.140	0.172	0.037	0.292	1.100
	BP	0.028	0.270	0.029	0.066	0	0.161	0.048	0.249	0.855
	VM	0	0.254	0.068	0.078	0.159	0	0.054	0.164	0.779
	VB	0.144	0.487	0.190	0.304	0.367	0.391	0	0.502	2.389
	VD	0.047	0.202	0.060	0.091	0.145	0.074	0.054	0	0.677
Eingangsfluss →	F-	0.356	2.460	0.678	1.120	1.526	1.560	0.363	2.279	

← Ausgangsfluss

- **PROMETHEE I:** Ranking auf Basis von **Ausgangs- und Eingangsflüssen**
- **PROMETHEE II:** Ranking auf Basis von **Nettoflüsse**

# 3. PRIMATE: Umgang mit Unsicherheiten

## *Datenbezogene Unsicherheiten*

- Möglichkeit der Angabe eines Minimal- und eines Maximalwertes einer Alternative für jedes Bewertungskriterium (=Wertespanne)
- PRIMATE zieht bis zu 10.000 **zufällige Werte aus angegebenem Wertebereich**
- **für jeden** zufällig gezogenen **Wert** wird **eine vollständige MKA** durchgeführt
- Ergebnisse aller Analysen werden statistisch ausgewertet (Mittelwerte, Varianzen, Rangverteilungen)

## *Unsicherheiten infolge unterschiedlicher Einschätzungen der Relevanz der Bewertungskriterien*

- Nutzung von **Globalgewichten** (bis zu 10.000 zufällige Gewichtskombinationen) mögl.
- Nutzung empirisch ermittelter **Gewichtung von Kriterienblöcken** (max. 5), **Einzelkriterien** (max. 16) durch Entscheidungsträger bzw. Stakeholder (max. 6) mögl.
- **für jede Gewichtskonfiguration** wird **eine vollständige MKA** durchgeführt
- Ergebnisse aller Analysen werden statistisch ausgewertet (Mittelwerte, Varianzen, Rangverteilungen)



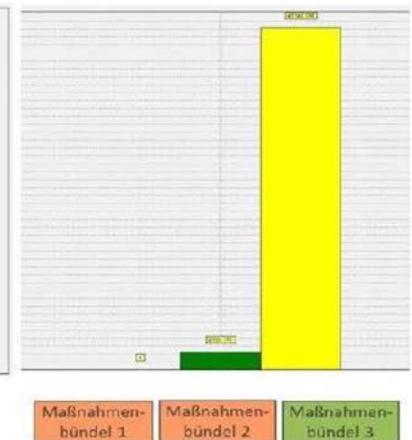
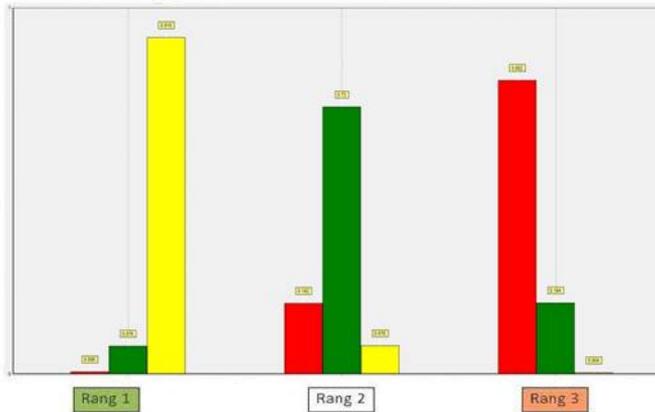
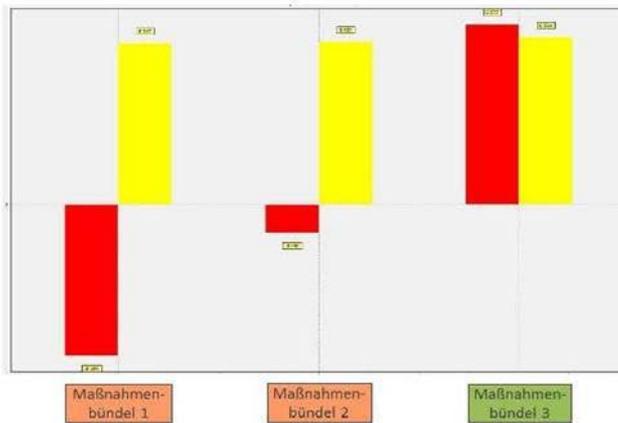
# 3. PRIMATE: Anwendungsbeispiele

Verminderung Bodenerosion

Niederschlagswassermanagement Wohngebiet

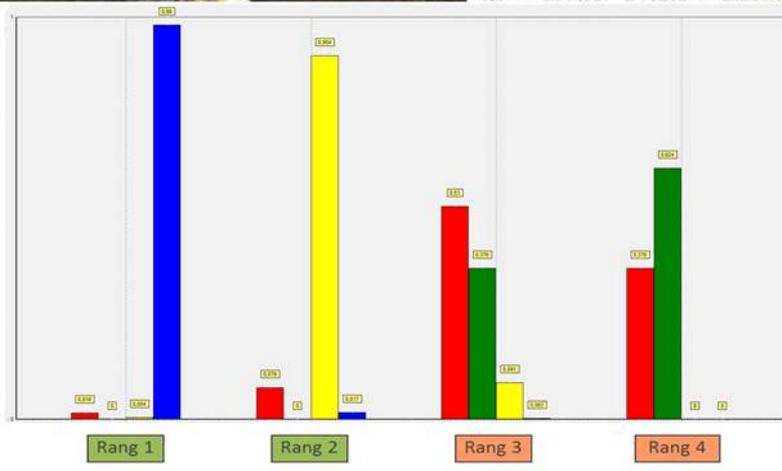
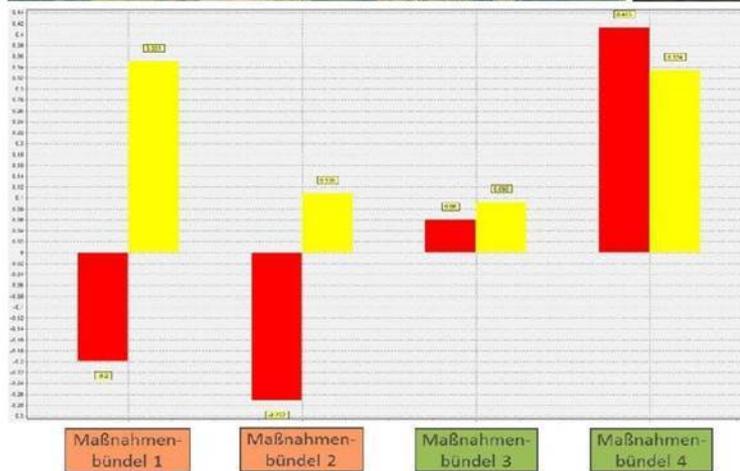
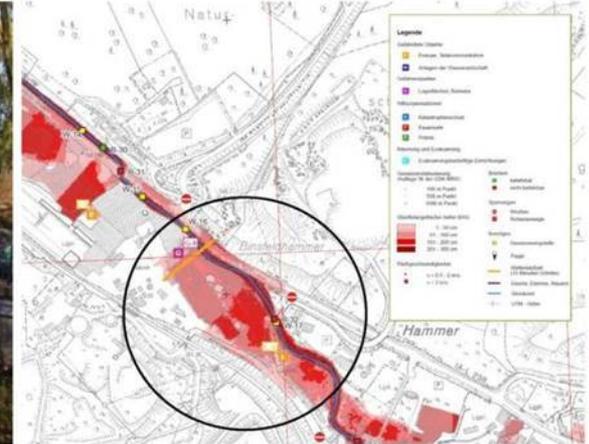
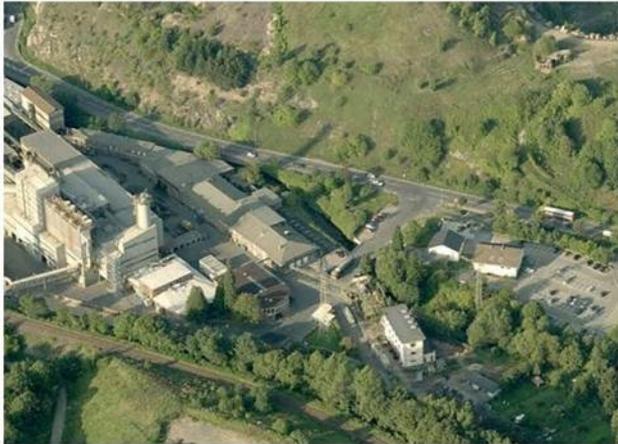


1.	<b>Kosten</b>	Kosten-Nutzen-Analyse	Multikriterien-Analyse
1.1	Kostenbarwert <ul style="list-style-type: none"> <li>Investitions-, Reinvestitionskosten</li> <li>Unterhaltungskosten</li> </ul>		
2.	<b>Nutzen</b>		
2.1	Nutzenbarwert <ul style="list-style-type: none"> <li>Einsparungen Niederschlagswassergebühr</li> <li>Einsparungen Energiekosten</li> </ul>		
2.2	Kleinklimatische Aspekte		
2.3	Gestalterische Aspekte		
2.4	Zusatznutzen		



# 3. PRIMATE: Anwendungsbeispiele

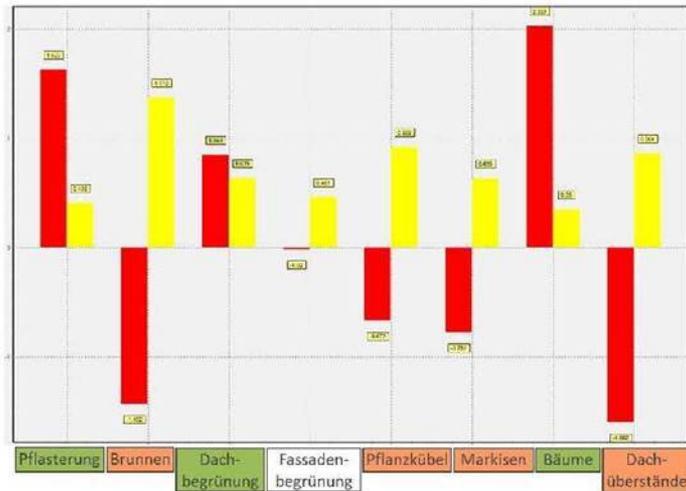
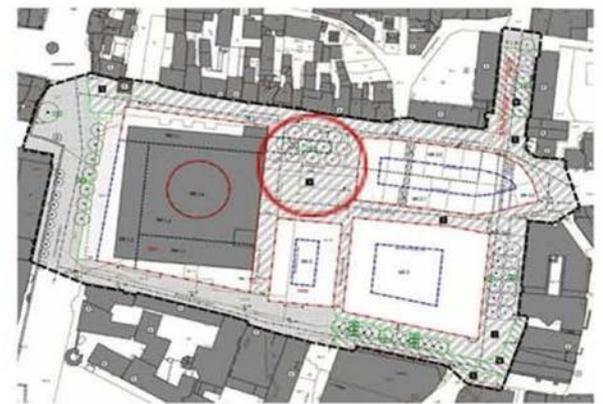
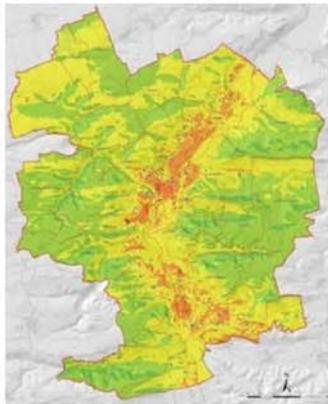
Verminderung Bodenerosion  
 Niederschlagswassermanagement Wohngebiet  
 Betrieblicher Hochwasserschutz



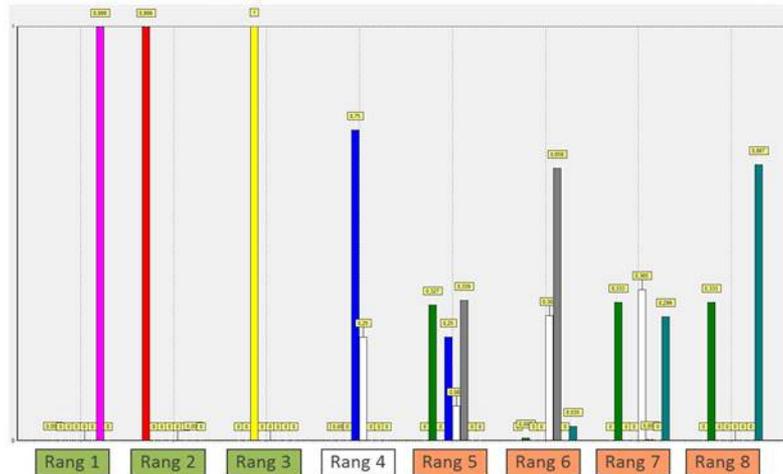
- Maßnahmenbündel 1
- Maßnahmenbündel 2
- Maßnahmenbündel 3
- Maßnahmenbündel 4

# 3. PRIMATE: Anwendungsbeispiele

Verminderung Bodenerosion  
 Niederschlagswassermanagement Wohngebiet  
 Betrieblicher Hochwasserschutz  
 Verbesserung mikroklimatischer Situation



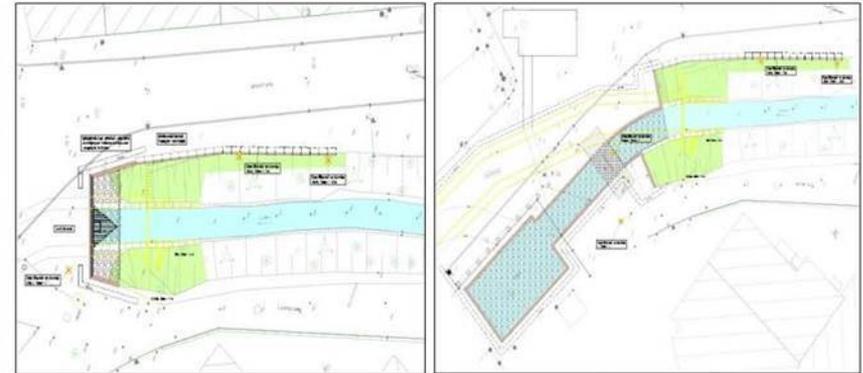
■ Mittelwerte  
 ■ 2\*Standardabweichung



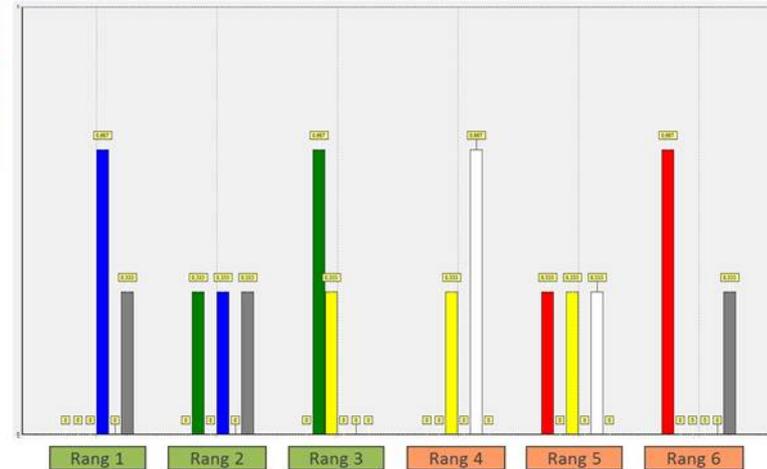
■ Bäume  
 ■ Pflasterung  
 ■ Dachbegrünung  
 ■ Fassadenbegrünung  
 ■ Pflanzkübel  
 ■ Markisen  
 ■ Brunnen  
 ■ Dachüberstände

# 3. PRIMATE: Anwendungsbeispiele

Verminderung Bodenerosion  
 Niederschlagswassermanagement Wohngebiet  
 Betrieblicher Hochwasserschutz  
 Verbesserung mikroklimatischer Situation  
 Kommunaler Hochwasserschutz



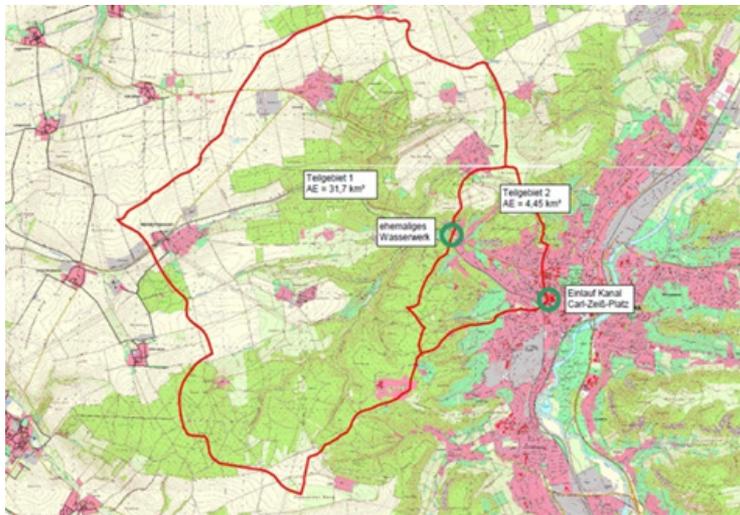
Nettoflüsse  
 KSJ  
 Nettoflüsse  
 FB Umwelt  
 Nettoflüsse  
 FB Planung



■ Variante 1  
 ■ Variante 2  
 ■ Variante 3  
 ■ Variante 4  
 □ Variante 5  
 ■ Variante 6

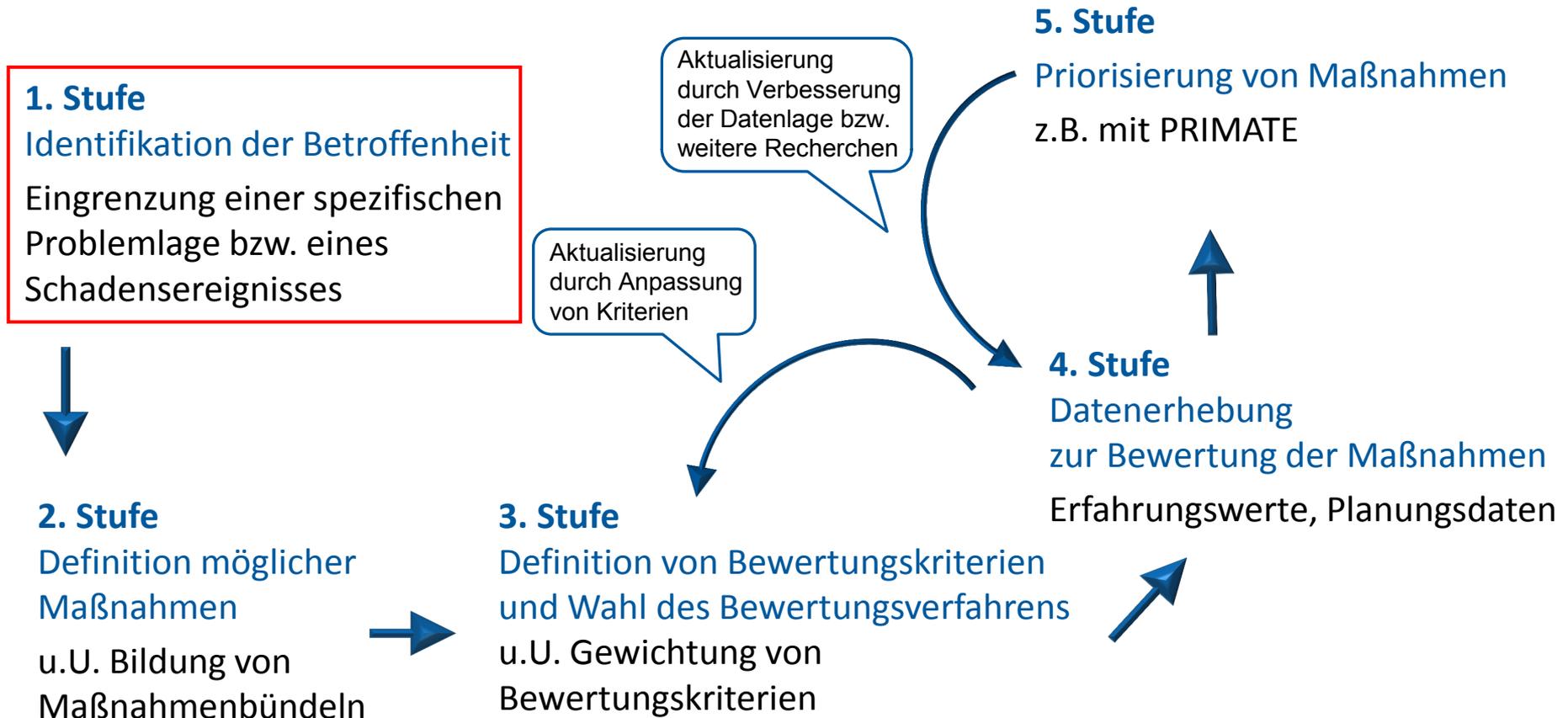
## 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen

- Gewässer zweiter Ordnung, Einzugsgebiet ca. 36 km<sup>2</sup>, **durchquert Stadtgebiet** aus Mühlthal kommend vor Einmündung in Saale
- Unterirdische Führung ab Carl-Zeiß-Platz in ca. **560m langen Kanal**
- **Neugestaltung Tunnel-Einlauf** notwendig, da Rechenbauwerk durch Beräunungen beschädigt und im Hochwasserfall häufig durch Treibgut blockiert
- **Erhöhung Hochwasserschutzniveau** von HQ20 auf HQ50 möglich
- **Vergleich** möglicher **Ausführungsvarianten** bezgl. ihrer Wirtschaftlichkeit



Quelle: Stadtverwaltung Jena (2010): Hydrologisches und hydraulisches Gutachten Leutra, Anlage 1;  
Microsoft Bing Maps (2012).

# 4. Ablauf Bewertungs- & Priorisierungsprozess



## 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Betroffenheit

- Überschwemmungen der Leutra v.a. infolge **sommerlicher Starkregenereignisse** (Basis: historische Daten, Einsatzpläne Feuerwehr)
- **Zunahme Starkregenereignisse** im Zuge des Klimawandels allgemein **erwartet**
- Bereich der Kanaleinmündung am Carl-Zeiß-Platz, auch Untergeschosse umliegender Gebäude (u.a. Tiefgarage Goethe-Galerie) betroffen
- Großes Schadenspotenzial bei starker Überschwemmung in Innenstadtbereich
- Verbesserung Hochwasserschutz durch langfristige & kurzfristige Maßnahmen



Quelle: Stadtverwaltung Jena (2012)

# 4. Ablauf Bewertungs- & Priorisierungsprozess

## 1. Stufe

### Identifikation der Betroffenheit

Eingrenzung einer spezifischen Problemlage bzw. eines Schadensereignisses



## 2. Stufe

Definition möglicher Maßnahmen  
u.U. Bildung von Maßnahmenbündeln



## 3. Stufe

Definition von Bewertungskriterien  
und Wahl des Bewertungsverfahrens  
u.U. Gewichtung von  
Bewertungskriterien

Aktualisierung  
durch Anpassung  
von Kriterien

Aktualisierung  
durch Verbesserung  
der Datenlage bzw.  
weitere Recherchen



## 5. Stufe

Priorisierung von Maßnahmen  
z.B. mit PRIMATE



## 4. Stufe

Datenerhebung  
zur Bewertung der Maßnahmen  
Erfahrungswerte, Planungsdaten



# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Maßnahmen

## Langfristige Maßnahmen zur Verbesserung Hochwasserschutz

- (Teil-)Öffnung Leutra-Tunnel
- Erweiterung Leutra-Tunnel um eine zweite Röhre
- Verändertes Versickerungsmanagement entlang der Leutra (Stadtgebiet)
- Veränderung der Flächennutzung am Oberlauf des Gewässers
- Anlage von Rückstaumöglichkeiten am Oberlauf des Gewässers

## Kurzfristige Maßnahmen zur Verbesserung Hochwasserschutz

- **Neu-Gestaltung Einlauf** zum Leutra-Tunnel
- Einbau selbstreinigenden, treibgutabweisenden Einlaufgitter (Leutra-Rechen) zur Senkung des Überspülens des Eingangs zum Leutra-Tunnel

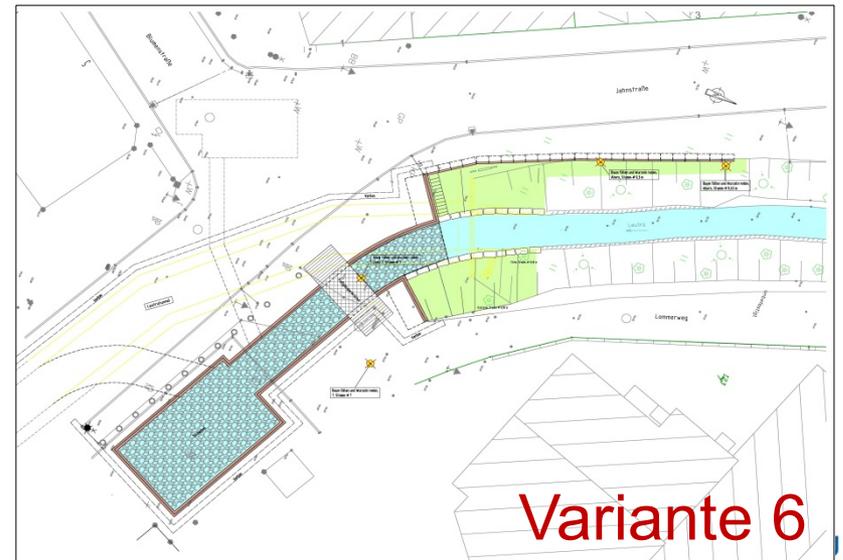
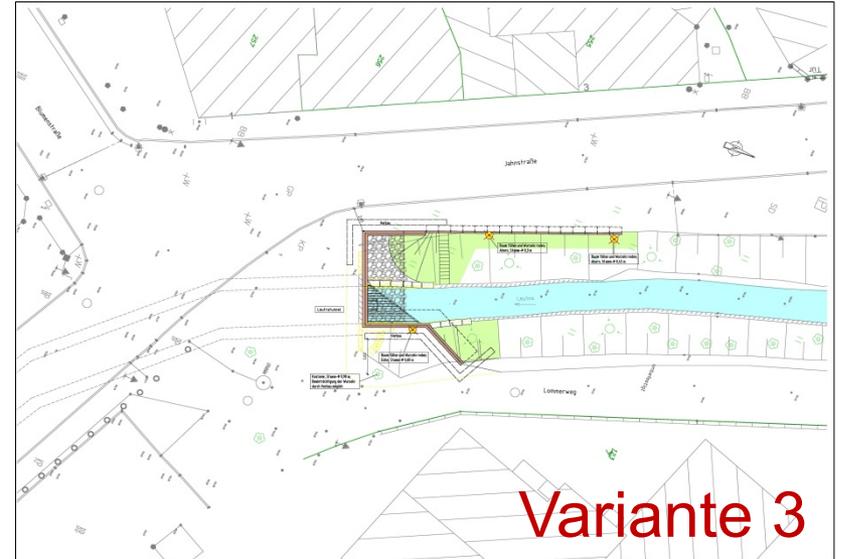


Quelle: UFZ (2012)

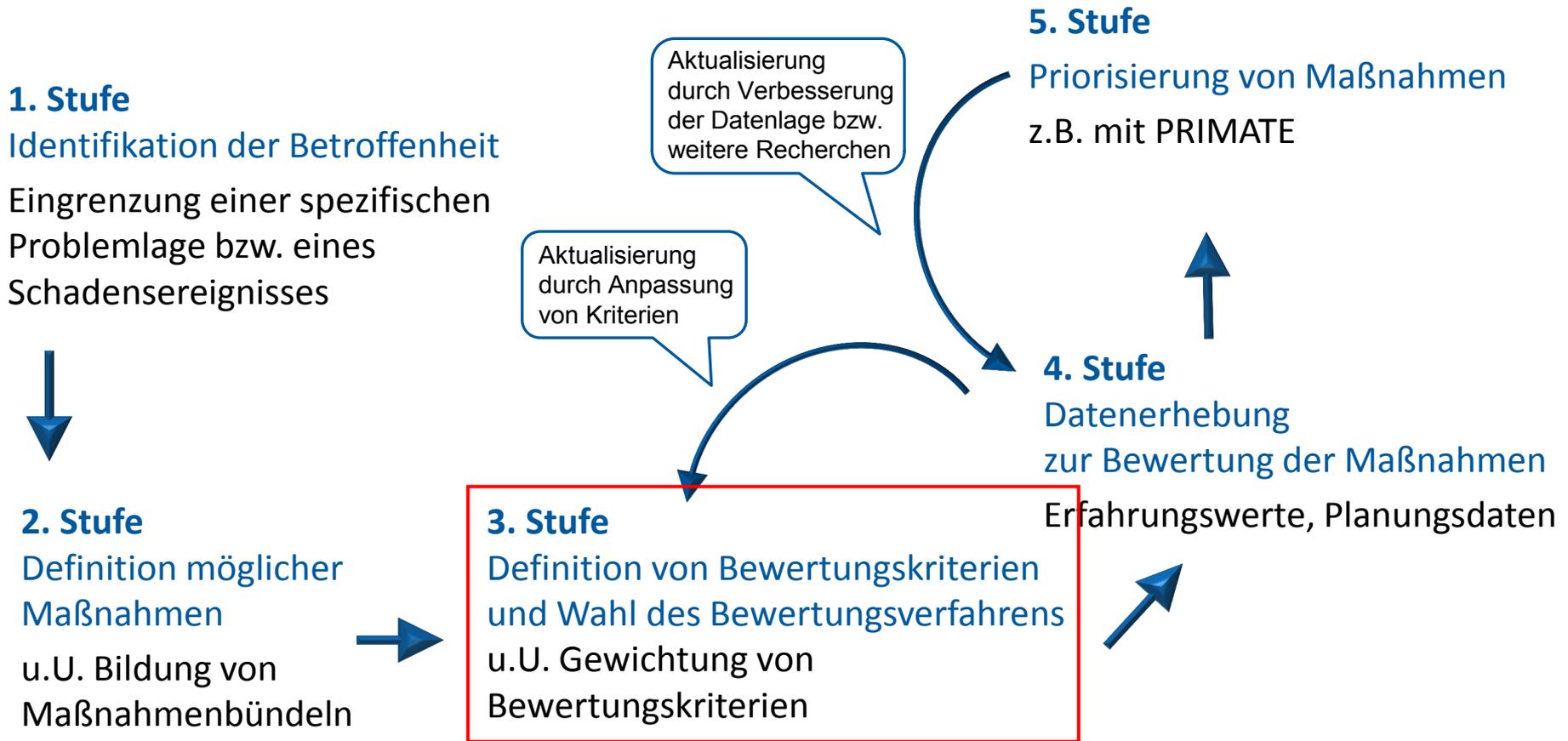
## 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Maßnahmen

Var.	Kurzbeschreibung	Erläuterung
1	Liegender, gerader Rechen direkt am vorhandenen Einlauf	Rechen mit ca. 35° Neigung, Befestigung an Stahlbetonkonstruktion (Trog), durch niedrige Neigung Ablagerung des Schwemmguts auf vorgesehener Ablagefläche auf dem Stahlbeton-Trog
2	Stehender Dreieck-Rechen direkt am vorhandenen Einlauf	Senkrechter Rechen in Dreiecksform, Befestigung an Stahlbetonkonstruktion (Trog), durch Dreiecksform Ablagerung des Schwemmguts zu beiden Seiten des Einlaufs
3	...	...
4	Stehender Dreieck-Rechen (wie Var. 2) ca. 7,0 m versetzt (Teilabbruch Leutratunnel)	Vgl. Variante 2
5	...	...
6	Tosbecken ca. 30,0 m stromabwärts (Teilabbruch Leutratunnel)	Versetzung des Einlauftunnels um ca. 30,0 m stromabwärts, Ablagerung des Schwemmguts im Stauraum des Tosbeckens

# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Ausführungsvarianten



# 4. Ablauf Bewertungs- & Priorisierungsprozess



# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Bewertungskriterien

<b>Kosten</b>
Kostenbarwert (Zeitraum: 100 Jahre, Diskontrate: 3%) <ul style="list-style-type: none"><li>• Investitionskosten</li><li>• Re-Investitionskosten</li><li>• Unterhaltungskosten</li></ul>
<b>Nutzen</b>
Wirksamkeit
Beschädigungsarme Wartung
Ökologische Aspekte
Gestalterische Aspekte

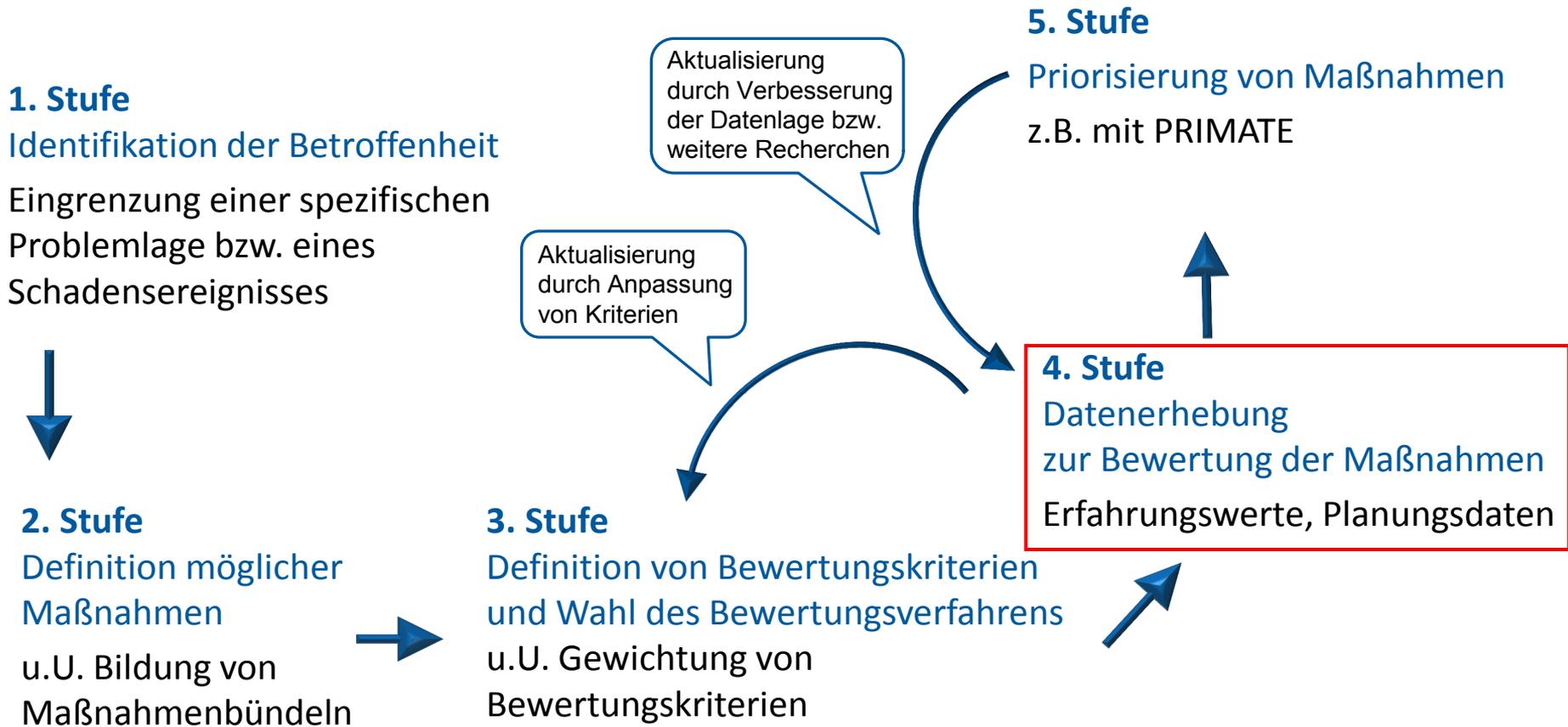
## 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Bewertungsverfahren, Gewichtung

- Berücksichtigung zahlreicher Bewertungskriterien bei Abwägung
  - Verwendung unterschiedlich skalierten Bewertungskriterien (quantitativ-monetär, qualitativ)
- Anwendung **Multikriterien-Analyse**

**Gewichtung** der Bewertungskriterien durch Entscheidungsträger

Kriterienblöcke	KSJ	FB Bauen und Umwelt FD Umweltschutz	FB Stadtentwicklung/ planung
Kosten	50	10	20
Nutzen	50	90	80
	100	100	100
<b>Kostenkriterienblock</b>			
Gesamtkosten (Invest., Re-Inv., Unterhaltung)	100	100	100
<b>Nutzenkriterienblock</b>			
Wirksamkeit	60	67	68
beschädigungsarme Wartung	20	11	13
ökologische Aspekte	20	22	13
gestalterische Aspekte	0	0	6
	100	100	100

# 4. Ablauf Bewertungs- & Priorisierungsprozess



# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Datenerhebung

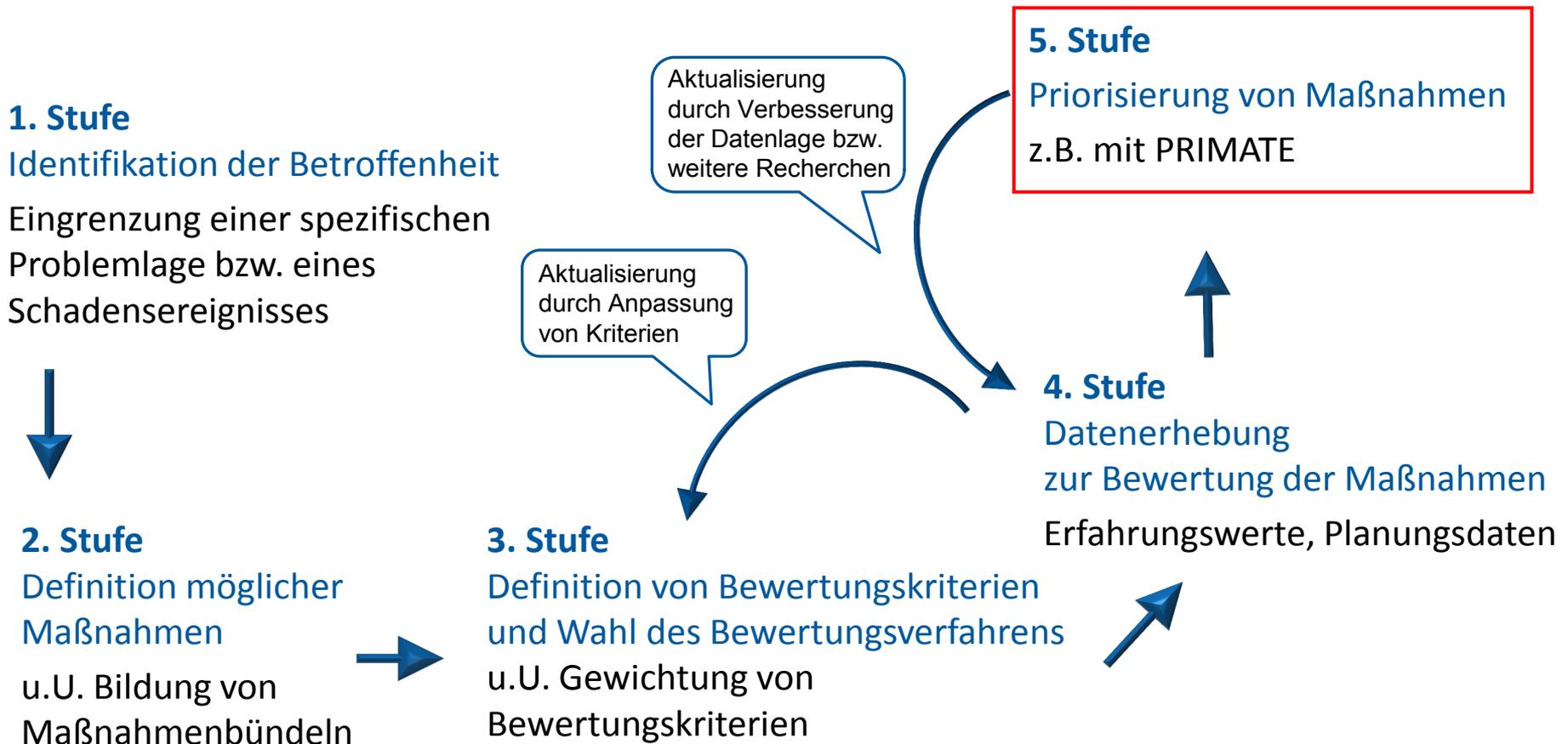
## Datenquellen

- Expertenbefragung
- Ergänzung und Validierung durch Recherchen zu vergleichbaren Projekten

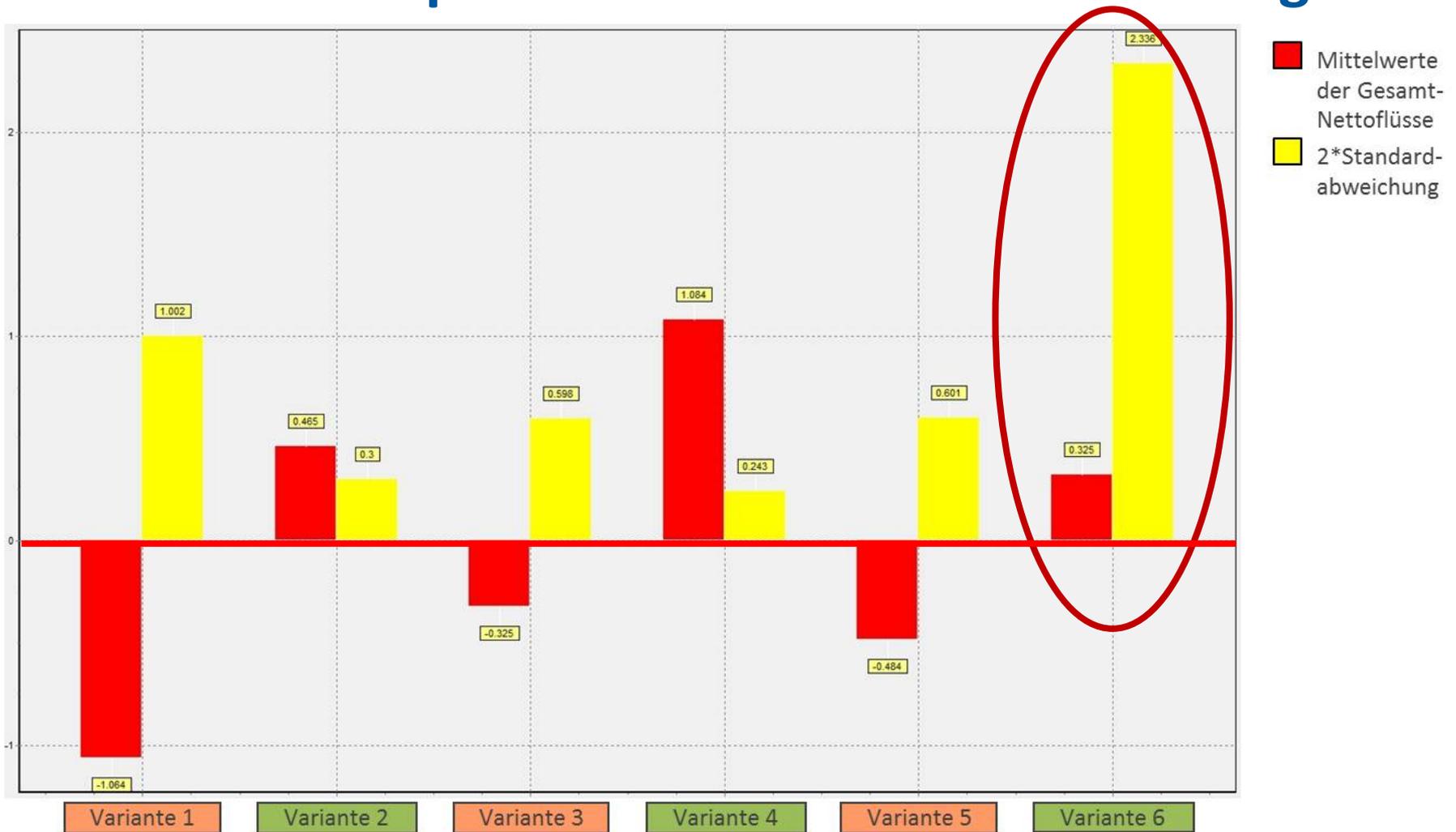
	Gesamtinvestitionskosten	Re-Investitionskosten (100 Jahre)	Unterhaltungskosten	Kostenbarwert (100 Jahre, 3% Diskontrate)	Wirksamkeit	Beschädigungsarme Wartung	Ökologische Aspekte	Gestalterische Aspekte
Variante 1	122.651	26.724	800	154.836	1	2	2	3
Variante 2	108.170	26.258	725	137.782	3	3	2	2
Variante 3	122.949	26.373	799	155.023	2	3	2	2
Variante 4	119.170	27.239	787	151.023	3	3	4	2
Variante 5	137.227	30.338	899	173.438	1	2	4	3
Variante 6	454.532	50.052	2.623	551.458	4	5	3	4

 für Bewertung verwendete Angaben

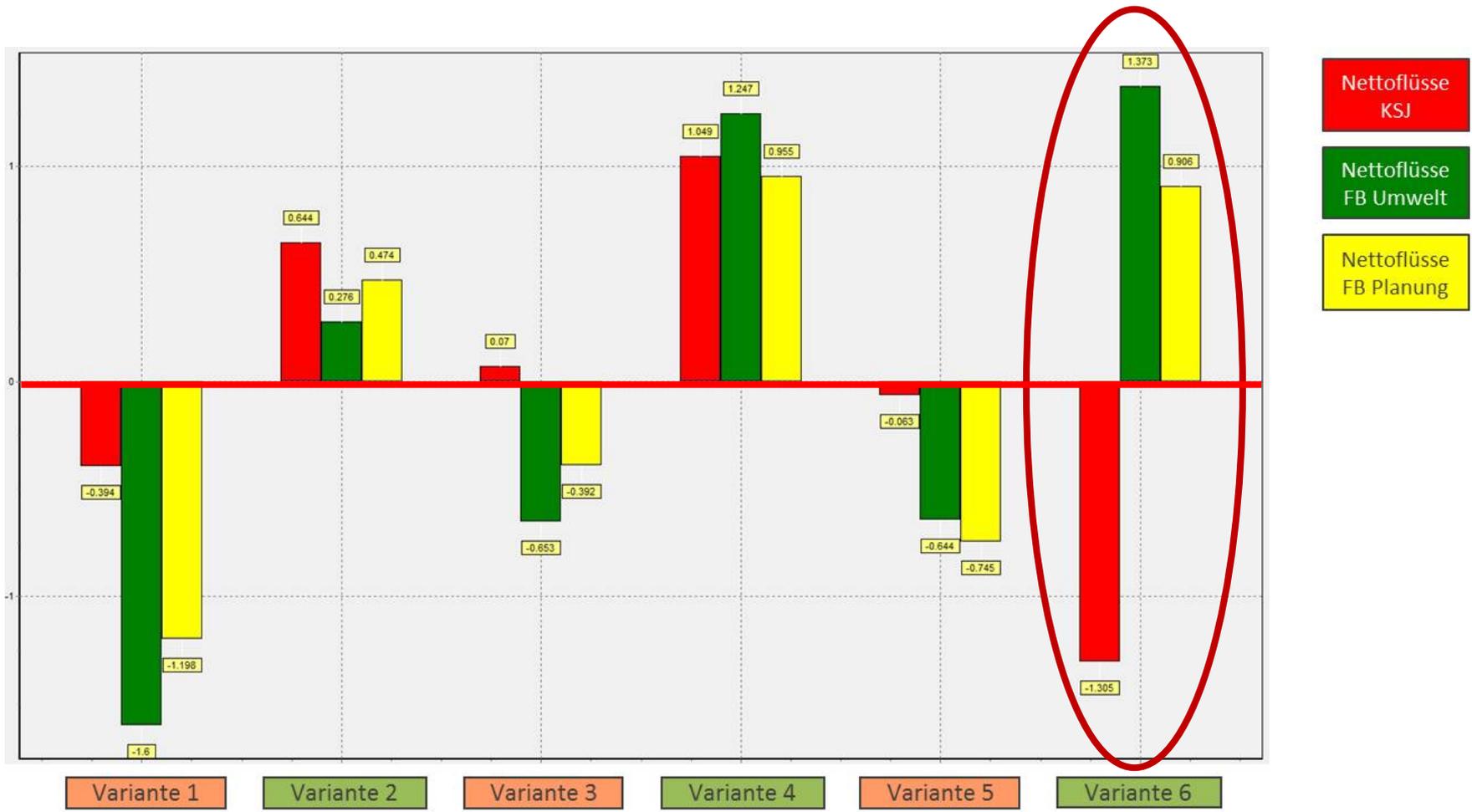
# 4. Ablauf Bewertungs- & Priorisierungsprozess



# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Priorisierung



# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Priorisierung



# 4. Fallbeispiel Leutra-Rechen: Priorisierung



- Unter Berücksichtigung der verwendeten Bewertungskriterien, Daten und Gewichtungssets stellt die **Variante 4** die zu wählende **Vorzugsalternative** dar.
- Die aufwendige **Variante 6** (mit Einschränkungen) sowie **die der Vorzugsvariante ähnliche Variante 2** können als **nächstbeste Optionen** betrachtet werden.
- **Varianten 3, 5 und 1** sind unter den getroffenen Annahmen **am wenigsten geeignet**.

# 5. Resümee

## *UFZ-Leitfaden ...*

- beschreibt eine **Bewertungsheuristik** zur Unterstützung klimaanpassungsbezogener Entscheidungsprozesse
- bildet **partizipativen Bewertungsprozess** ab, der Entscheidungsträger und mögliche Anspruchsgruppen einbindet

## *PRIMATE ...*

- kann **Datenunsicherheiten** im Priorisierungsprozess berücksichtigen
- ermöglicht Einbeziehung **unterschiedlicher Kriteriengewichtungen**
- stellt **Auswirkung** unterschiedlicher Kriteriengewichtungen auf Priorisierungsergebnis dar
- ermöglicht die Identifikation von **unvergleichbaren Alternativen**
- erhöht **Transparenz** des Bewertungsprozesses
- erleichtert Identifikation von **Handlungsspielräumen** und **Kompromisslösungen**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

