



BMVBS-Online-Publikation, Nr. 11/2013

**Bewertung und Priorisierung von  
Klimaanpassungsmaßnahmen.  
Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung  
bei der urbanen Klimaanpassung**

**Impressum**

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin  
Prof. Dr. János Brenner

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Dr. Fabian Dosch

Bearbeitung

Helmholz-Zentrum für Umweltforschung – (UFZ)  
Prof. Dr. Bernd Hansjürgens  
Oliver Gebhardt, Dr. Volker Meyer, Miriam Brenck, Simon Melch

im Auftrag von:

plan + risk consult  
Prof. Dr. Stefan Greiving (Leitung),  
Dr. Mark Fleischhauer, Dr. Andrea Rüdiger

BPW baumgart+partner  
Frank Schlegelmilch, Filip Ahrens

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Zitierhinweise

BMVBS (Hrsg.): Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen.  
Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung.  
BMVBS-Online-Publikation 11/2013.

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der  
des Herausgebers identisch.

ISSN 1869-9324

© BMVBS Juli 2013

Ein Projekt des Forschungsprogramms „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau  
(ExWoSt)“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) be-  
treut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für  
Bauwesen und Raumordnung (BBR).

## Inhalt

<b>VORWORT</b> .....	<b>3</b>
<b>1. EINFÜHRUNG</b> .....	<b>6</b>
<b>2. ZIELE DES LEITFADENS</b> .....	<b>8</b>
<b>3. PROZESS DER BEWERTUNG UND PRIORISIERUNG VON ANPASSUNGSMASSNAHMEN</b> .....	<b>9</b>
<b>4. ANWENDUNGSBEISPIEL: HITZE IN DER STADT</b> .....	<b>10</b>
4.1 STUFE 1: IDENTIFIKATION DER BETROFFENHEIT.....	11
4.2 STUFE 2: DEFINITION MÖGLICHER MASSNAHMEN.....	13
4.3 STUFE 3A: DEFINITION VON BEWERTUNGSKRITERIEN .....	15
4.4 STUFE 3B: AUSWAHL DES BEWERTUNGSVERFAHRENS .....	17
4.5 STUFE 3C: GEWICHTUNG DER BEWERTUNGSKRITERIEN .....	19
4.6 STUFE 4: DATENERHEBUNG .....	21
4.7 STUFE 5A: DURCHFÜHRUNG DER BEWERTUNG.....	24
4.8 STUFE 5B: PRIORISIERUNG DER MASSNAHMEN.....	26
<b>ANHANG</b> .....	<b>28</b>
ANHANG 1: KURZANLEITUNG BEWERTUNGSVERFAHREN .....	28
ANHANG 2: KURZANLEITUNG GEWICHTUNGSVERFAHREN.....	33
ANHANG 3: BEISPIELE FÜR DATENQUELLEN .....	34
ANHANG 4: FALLSTUDIEN.....	36
ANHANG 5: BEWERTUNGSSOFTWARE PRIMATE.....	62
ANHANG 6: ÜBERSICHT ZU DEN SIEBEN EXPERTISEN VON STADTKLIMAEWOST .....	63
<b>WEITERFÜHRENDE LITERATUR</b> .....	<b>65</b>
<b>ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>66</b>

## Vorwort

Im Rahmen des Forschungsfeldes „Urbane Strategien zum Klimawandel: Kommunale Strategien und Potenziale“ des Forschungsprogramm "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau" (ExWoSt) wird mit diesem Leitfaden eine Arbeitshilfe für kommunale Praktiker angeboten.

Sie ist eine von insgesamt sieben Expertisen. In diesen werden planungsbezogene Empfehlungen, Methoden der Klimafolgenbewertung, zielgruppenspezifische Kommunikationsinstrumente, Verfahren zur Flexibilisierung von Methoden, Verfahren und Instrumenten, Wechselwirkungen mit dem Handlungsfeld demographischer Wandel, sowie Aspekte zu einem DOPPIK-gestützter Informationsgewinns Steuerung der klimagerechten Grün- und Freiflächenentwicklung diskutiert und vorgestellt.

Darüber hinaus wurden und werden sukzessive Handlungshilfen, Informationsbroschüren (u.a. ExWoSt-Informationen 39/1 bis 39/4, Broschüren zu den webgestützten Informationsangeboten), Sonderveröffentlichungen (u.a. Hitze in der Stadt, 50 Fragen – 50 Antworten zur kommunalen Klimaanpassung, Produktübersichtsbroschüre) angeboten. Hinzu kommen praxiserprobte Handlungshilfen und weitere Produkte der Modellstädte.

Darüber hinaus bieten praxiserprobte Web-Plattformen Hilfen für die Entscheidungsfindung von Kommunen. Hierzu zählen insb.: Der Stadtklimalotse (stadtklimalotse.de mit Maßnahmenfilter und Betroffenheitsmodul), seine Anwendung am Bsp. Jena jenkas.de, ein Gewerbeklimalotse, ein Priorisierungsrechner u.a.m.). Sie werden auch über unten angegebene Webplattformen abgebildet.

Weitere Informationen unter:

[klimaexwost.de](http://klimaexwost.de); [klimastadtraum.de](http://klimastadtraum.de); [stadtklimalotse.de](http://stadtklimalotse.de)

Stadträume sind aufgrund der Dichte ihrer Bebauung und der Intensität der wirtschaftlichen Tätigkeit besonders sensibel gegenüber Klimaänderungen. Das betrifft vor allem das häufigere und stärkere Auftreten von Starkregen und Hochwasser. Hochsommerliche Hitzeperioden führen dazu, dass sich Städte aufgrund der Versiegelung und der eigenen Wärmeproduktion stärker aufheizen als das Umland.

Bei dem ExWoSt-Modellvorhaben »Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale« steht die kommunale Ebene mit ihren lokalen Akteuren (Politik, Verwaltung, Unternehmen, Eigentümer, Bürger) und Instrumenten (Bauleitplanung und Stadtentwicklungsplanung) im Fokus.

Zu Projektbeginn 2009 wurden bundesweit neun Modellprojekte mit dem Ziel ausgewählt, innovative Strategien zur Anpassung an den Klimawandel zu erarbeiten.

Die Modellprojekte haben ihre Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens weitestgehend abgeschlossen. Aktuell beginnt die Umsetzung der in den Städten erarbeiteten Konzepte und Maßnahmen. Ziel ist es, die Anpassung an den Klimawandel dauerhaft in kommunale Planungsprozesse zu integrieren.

Während der Projektlaufzeit wurden die Modellprojekte fachlich durch die Bundesforschungsassistenten unterstützt. In diesem Rahmen wurden verschiedene Themen in insgesamt sieben Expertisen aufbereitet und veröffentlicht (siehe Tabelle Anhang 6).

Mit Blick sowohl auf die offizielle Finanzstatistik kommunaler Haushalte als auch in zahlreiche örtliche Tageszeitungen wird deutlich, dass viele deutsche Kommunen sich trotz allgemeiner konjunktureller Stabilisierung in einer tiefgreifenden Haushaltskrise befinden. Unter den Rahmenbedingungen von Nothaushalten, Kassenkrediten und begrenzten Personalressourcen erscheint es wichtiger denn je, eine Priorisierung von Maßnahmen vorzunehmen und möglichst robuste Planungsentscheidungen zu treffen. Eine wichtige, wenngleich nicht die einzige Grundlage für die Entscheidung zwischen alternativen Stadtentwicklungsstrategien ist eine Abwägung unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten.

Vielfältige Arten von Kosten ergeben sich direkt oder indirekt aus dem Umgang mit den Folgen des Klimawandels. Mögliche Kosten für die kommunalen Haushalte aber auch für private Akteure entstehen

- durch die Instandhaltung und ggf. bauliche Instandsetzung von Infrastrukturen, Sachgütern, Verkehrswegen oder Hochbauten,
- aufgrund von Anlagenausfällen und Verkehrsbehinderungen bei Extremereignissen, auch von Ausfällen saisonal bedingter Einnahmen (Tourismussektor),
- in Folge veränderter Häufigkeiten und Ausmaße von Flusshochwassern,
- durch den steigenden Energiebedarf für Kühlung und Wasseraufbereitung,
- aufgrund des steigenden Wasserbedarfs bei gleichzeitig sinkendem Brauchwasserangebot im Sommer,
- in Folge einer Veränderung des Pflegebedarfs der Grünbestände (v.a. hinsichtlich Bewässerung) sowie durch Neuanlage von Grün- und Freiflächen.

Gerade zur Vermeidung besonderer Schäden und Minderung absehbarer Folgekosten ist eine frühzeitige Anpassung an den Klimawandel geboten. Vor allem die aktuell vielerorts anstehenden Stadtentwicklungsaufgaben im Bereich des Stadtbbaus, der Stadtsanierung oder der Siedlungsflächenentwicklung bieten zahlreiche Möglichkeiten, Finanzmittel hierbei möglichst effektiv, aber auch effizient einzusetzen. Durch eine heutige, vorbeugende Anpassung können kostenintensive Schäden von morgen verhindert oder reduziert werden. Dabei können oftmals vergleichswei-

se günstige Maßnahmen große Effekte erzielen. So dienen Fassadenbegrünung im Sommer als kostengünstige Maßnahme zur Isolierung von Wohngebäuden und Arbeitsstätten. Durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen entsteht im direkten Umfeld zusätzliche Kühle. Die Einstrahlung auf die Gebäudewand wird dabei ebenso reduziert wie auch bei einem hellen Anstrich der Gebäude aufgrund des Albedo-Effekts.

Die Unsicherheiten bezüglich der Modellierung der klimatischen Veränderungen, der Bandbreite möglicher Auswirkungen des Klimawandels sowie hinsichtlich des daraus resultierenden, Anpassungsbedarfs erschweren Finanzentscheidungen auf diesem Gebiet. Diese Unsicherheiten sowie die eingangs beschriebenen finanziellen Rahmenbedingungen machen es notwendig, im kommunalen Planungsalltag mehr Gewicht auf die Einbeziehung von "Low-cost" und "No-Regret"-Anpassungsstrategien zu legen.

Die vorliegende Expertise richtet sich an Entscheidungsträger in Kommunen und Unternehmen, die vor der Herausforderung stehen, unter Unsicherheit und angesichts limitierter finanzieller Ressourcen besonders vorteilhafte Maßnahmen zur Klimaanpassung auszuwählen. Auf Grundlage von Fallstudien aus den Modellvorhaben Aachen und Jena wurde vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ) zur Unterstützung klimaanpassungsbezogener Entscheidungsprozesse der Leitfaden "Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen" entwickelt, der ein einfaches Verfahren zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung von Handlungsoptionen beschreibt. Der in der Expertise dargelegte Leitfaden führt durch die Auswahl und Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen, zeigt relevante Fragen auf und strukturiert den Bewertungs- und Priorisierungsprozess. Er hilft, eine Datengrundlage für die Entscheidungsfindung zu schaffen und mit Datenunsicherheiten umzugehen, erklärt mögliche Bewertungsmethoden und hilft, diese anzuwenden. In Kap. 4 wird deren Anwendung am Beispiel des Handlungsfeldes „Hitze in der Stadt“ praxisnah und nachvollziehbar dargelegt. Damit ermöglicht der Leitfaden Maßnahmen zu bewerten und Handlungsalternativen zu priorisieren.

Die in der Expertise aufgeführten Fallbeispiele behandeln die Bewertung von Maßnahmen zur Senkung des sommerlichen Hitzestress auf einem innerstädtischen Platz, von Maßnahmen zum kommunalen und zum betrieblichen Hochwasserschutz sowie von Strategien des Niederschlagswassermanagement in einem Wohngebiet.

## 1. Einführung

Im Rahmen einer integrierten Stadtentwicklung werden zunehmend eigenständige Klimaanpassungsmaßnahmen umgesetzt oder auch Klimaanpassungsaspekte bei der Realisierung von Planungsvorhaben berücksichtigt. Städten und Gemeinden fällt beim Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels eine wichtige Rolle zu: Zum einen werden sie von den Auswirkungen des Klimawandels im besonderen Maße betroffen sein und zum anderen sind sie wesentliche Akteure bei der Umsetzung lokaler Anpassungsmaßnahmen.

Die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen kann dabei mit erheblichen Kosten für die öffentlichen Haushalte verbunden sein. Zudem lassen sich Kosten und insbesondere der Nutzen der Maßnahmen, also die Minderung der Folgen des Klimawandels, sowie die positiven oder negativen Wechselwirkungen mit anderen Sektoren häufig nur grob erfassen. Dies liegt zum einen in den Unsicherheiten der zugrundeliegenden Klimaszenarien und zum anderen darin begründet, dass auch die Maßnahmeneffekte und Kosten selbst teilweise nur sehr grob abgeschätzt werden können. Unter diesen Bedingungen effiziente Lösungen zu finden, stellt für kommunale Entscheidungsträger eine große Herausforderung dar.

Die Ermittlung prinzipiell geeigneter Handlungsoptionen und die Auswahl derjenigen Alternativen, die bevorzugt umzusetzen sind, setzen neben der Abwägung verschiedener Faktoren, wie z. B. Wirksamkeit, Kosten oder Lebensdauer, auch die Beachtung der unterschiedlichen Interessen verschiedener Anspruchsgruppen voraus. Verfahren, die die Transparenz des Entscheidungsprozesses sicherstellen, unterstützen einerseits durch das Aufzeigen bestehender Handlungsspielräume die eigentliche Entscheidungsfindung und wirken sich andererseits durch die Verbesserung deren Nachvollziehbarkeit positiv auf die Akzeptanz der Entscheidungen aus.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) hat das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig – UFZ zur Unterstützung klimaanpassungsbezogener Entscheidungsprozesse einen Leitfaden entwickelt, der ein einfaches Verfahren zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung von Handlungsoptionen beschreibt. *Die Anwendung des Leitfadens bei städtebaulichen Entscheidungen ist kein Ersatz für eine sachgerechte, letztlich durch die hierfür politisch legitimierte Gemeindevertretung zu treffende Abwägung, sondern eine Unterstützung dieses Prozesses:* Der Leitfaden führt durch die Auswahl und Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen; zeigt relevante Fragen auf und strukturiert den Bewertungs- und Priorisierungsprozess; hilft, eine Datengrundlage für die Entscheidungsfindung zu schaffen und mit Datenunsicherheiten umzugehen; erklärt mögliche Bewertungsmethoden und hilft, diese anzuwenden. Er richtet sich damit an

Entscheidungsträger in Kommunen und Unternehmen, die vor der Herausforderung stehen, unter Unsicherheit und angesichts limitierter finanzieller Ressourcen besonders vorteilhafte Maßnahmen zur Klimaanpassung auszuwählen.

Der Prozess der Bewertung von Anpassungsmaßnahmen erfolgt dabei in fünf Stufen:

1. Identifikation der Betroffenheit
2. Definition möglicher Maßnahmen
3. Definition von Bewertungskriterien und Wahl des Bewertungsverfahrens
4. Datenerhebung zur Maßnahmenbewertung
5. Priorisierung von Handlungsoptionen

Darüber hinaus bietet der Leitfaden eine Kurzanleitung für die drei Bewertungsverfahren Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA), Multi-kriterien-Analyse (MKA) sowie Beispiele für mögliche Datenquellen und Fallstudien aus dem Forschungsfeld.

Der Leitfaden ist Teil von sieben Expertisen (vgl. Übersicht, Anhang 6), die im Rahmen des Forschungsfelds "Urbane Strategien zum Klimawandel: Kommunale Strategien und Potenziale" – kurz StadtKlimaExWoSt – im Jahr 2013 erstellt werden. In bundesweit neun Modellprojekten wurde zwischen 2010 und 2012 untersucht, was vor Ort tatsächlich erforderlich ist, um auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet zu sein. Daran waren die Modellkommunen StädteRegion Aachen, Bad Liebenwerda, Essen, Jena, Nachbarschaftsverband Karlsruhe, Nürnberg, Regensburg, Saarbrücken und Syke beteiligt. Im Zeitraum von Mai 2011 bis April 2012 entwickelte das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ im Rahmen der Expertise "Investitionsbedarf und gesellschaftliche Rentabilität von Klimaanpassungsmaßnahmen in Städten" den vorliegenden Leitfaden. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem Modellkommunen Jena und StädteRegion Aachen insgesamt vier beispielhafte Bewertungen durchgeführt. Im Januar 2012 wurde das Verfahren zur Bewertung und Priorisierung auf einem Praxisworkshop mit Vertretern der Modellkommunen und Experten der ökonomischen Bewertung von Anpassungsmaßnahmen erörtert.

Der Leitfaden ist in den Stadtklimalotsen ([www.stadtklimalotse.net](http://www.stadtklimalotse.net)), einem eigenständig anwendbaren Beratungsinstrument zur Auswahl von geeigneten Anpassungsmaßnahmen für die klimawandelgerechte Stadtentwicklung, integriert. Er wird auf dieser Plattform interessierten Akteuren als ein Hilfsmittel bei der Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen angeboten.

## 2. Ziele des Leitfadens

Kommunen und Kreise sind wesentliche Akteure zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, da viele Maßnahmen nur lokal umgesetzt werden können. Angesichts der Ressourcenknappheit öffentlicher Haushalte stehen Entscheidungsträger bei der Auswahl von Klimaanpassungsmaßnahmen vor den Fragen:

- Welche Maßnahmen sind ökonomisch sinnvoll?
- Mit welcher Priorität sind diese Maßnahmen anzugehen?

Für eine detaillierte Analyse dieser Fragen stehen den Kommunen allerdings häufig weder die zeitlichen noch finanziellen Ressourcen zur Verfügung. An dieser Stelle setzt der vorliegende Leitfaden an: Er beschreibt ein einfaches Verfahren zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung von Maßnahmen, das Kommunen als Entscheidungsunterstützung bei der Planung von Klimaanpassungsmaßnahmen dienen soll.

Der Leitfaden...

- ...führt durch den Entscheidungsprozess der Bewertung und Auswahl von Anpassungsmaßnahmen,
- ...zeigt relevante Fragen auf und strukturiert den Prozess,
- ...hilft, eine Datengrundlage für die Entscheidung zu schaffen und mit Unsicherheiten in den Daten umzugehen,
- ...erklärt Bewertungsmethoden und hilft, diese anzuwenden.

Mit Hilfe des Leitfadens kann auch mit geringem Aufwand und mit vorhandenen Informationen und Daten eine transparente Entscheidungsgrundlage zur verwaltungsinternen oder öffentlichen Darstellung geschaffen werden. Unsicherheiten in den Daten werden dabei offengelegt. Genügen die Informationen nicht, um eine eindeutige Entscheidung zu treffen, gibt der Leitfaden Hinweise, wie die Datengrundlage verbessert werden kann. Als Ergebnis der Bewertung lassen sich Maßnahmen vergleichen und eine Rangfolge der Maßnahmen ermitteln. Die Bewertung kann auch als Diskussionsgrundlage für Kompromisslösungen dienen. Damit ermöglicht es der Leitfaden, Maßnahmen zu bewerten und Handlungsalternativen zu priorisieren.

Der beschriebene Bewertungsprozess ist partizipativ, das heißt, er ermöglicht die Einbeziehung von Experten aus den unterschiedlichen Fachplanungen (z. B. bei der Bestimmung der Betroffenheit, der Entwicklung von Maßnahmen, der Gewichtung von Bewertungskriterien und der Datenerhebung) und ggf. auch von betroffenen Bürgern (z. B. bei der Gewichtung der Bewertungskriterien).

### 3. Prozess der Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen

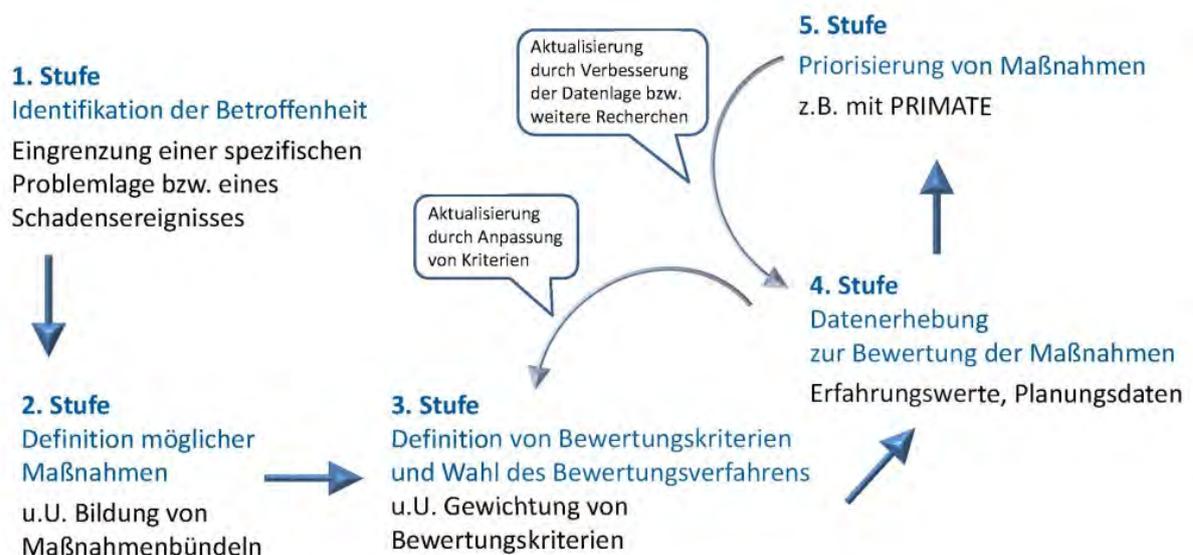


Abb. 1: Darstellung der 5. Stufen des Bewertungsprozesses

- Abbildung 1 zeigt die fünf Stufen des Bewertungsprozesses. Diese werden auf den folgenden Seiten näher erläutert und an spezifischen Fallbeispielen illustriert.
- Eine flexible Anpassung des Bewertungsprozesses entsprechend dem Planungsstand bzw. der Datenverfügbarkeit ist möglich:
  1. In Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit ist ggf. eine Änderung der zu verwendenden Bewertungskriterien notwendig (Rückkopplung von Stufe 4 zu Stufe 3).
  2. Eine Verbesserung des Bewertungsergebnisses ist möglich, wenn im Nachgang einer ersten Bewertung für einen erneuten Durchlauf ggf. belastbarere Daten zur Verfügung stehen (Rückkopplung von Stufe 5 zu Stufe 4).

## 4. Anwendungsbeispiel: Hitze in der Stadt <sup>1</sup>

- Neubebauung des Eichplatzes in Jena
- Zentral gelegener Platz in der Innenstadt, Gesamtareal ca. 1,6 ha
- Derzeit überwiegend mit schwarzem Asphalt versiegelte Fläche (Parkplatz) mit geringem Grünflächenanteil

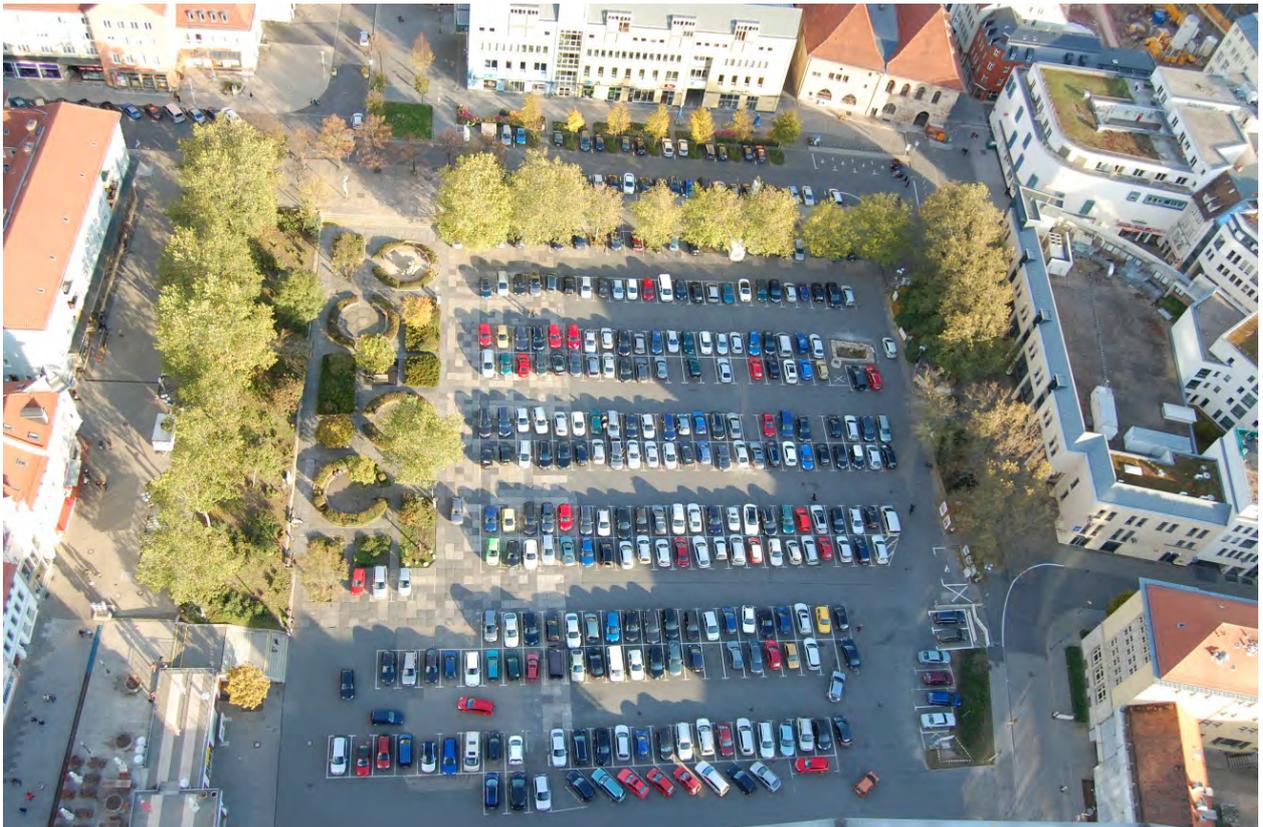


Abb. 2 Heutige Parkfläche auf dem Eichplatz

Bei der Neugestaltung sollen Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung miteinbezogen werden.

- Zielsetzung: Vergleich möglicher Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit auf Basis des durch den Stadtrat verabschiedeten Bebauungsplans

---

<sup>1</sup> siehe hierzu auch Anhang 4, Beispiel 2

## **4.1 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?

### 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

### 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)

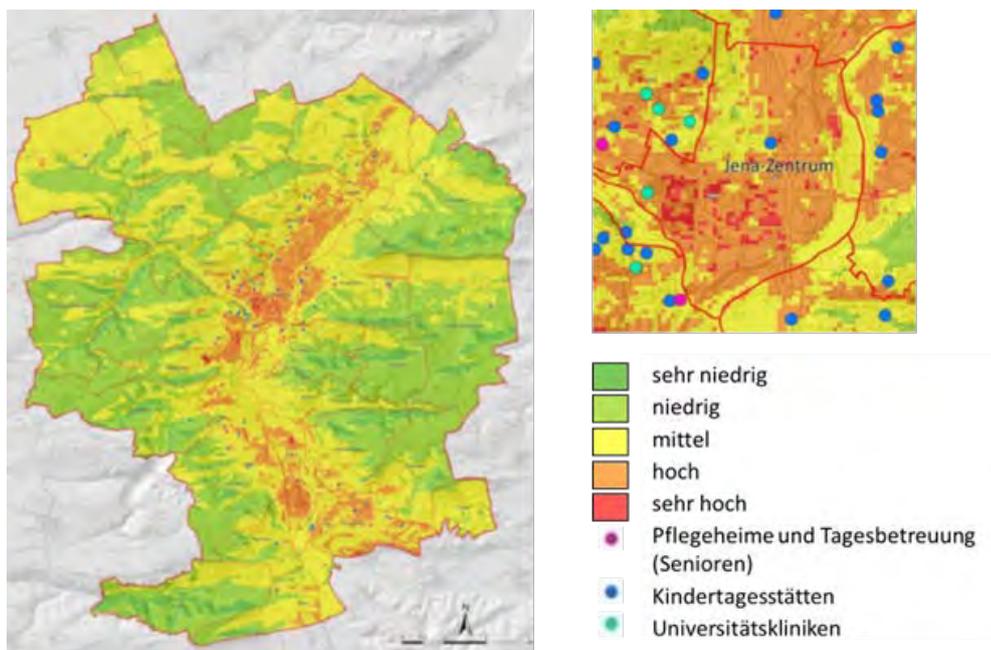


Abb. 3 Überhitzungsgefährdung Stadtgebiet Jena auf Basis von Versiegelungsgrad, Baustruktur, Globalstrahlung, lokalen und regionalen Windsystem

## 4.2 Stufe 2: Definition möglicher Maßnahmen

### Ziele der Maßnahmen

- ➔ Was ist das primäre Ziel der Anpassungsmaßnahmen?
- ➔ Welche zusätzlichen Ziele sollen berücksichtigt werden?
- Die verschiedenen Ziele bilden die Basis für die Festlegung der Nutzenkriterien (vgl. Stufe 3a).

### Mögliche Maßnahmen

- ➔ Welche Maßnahmen sind geeignet, das primäre Ziel zu erreichen und den (befürchteten) Schaden ganz oder teilweise abzuwenden?
- ➔ Sind bereits Maßnahmen in anderen Zusammenhängen geplant, die hinsichtlich ihrer Klimaanpassungswirkung betrachtet werden sollen?
- Zusammen mit Experten aus den betroffenen Fachplanungen sollten geeignete Maßnahmen zusammengetragen werden.
- Die Maßnahmen müssen inhaltlich beschrieben und gegenüber ähnlichen Alternativen klar abgegrenzt werden.
- Hilfreich ist dabei eine räumliche Einordnung der Maßnahmen, z. B. auf der Grundlage eines Bebauungsplans oder eines Kartenausschnitts, um ein möglichst realistisches Bild von der Planung der Maßnahmen zu bekommen und zu sehen, welche Maßnahmen sich u.U. gegenseitig ausschließen.

### Bildung von Maßnahmenbündeln

- Je nach Situation und Anwendungsfall kann eine Bildung und Bewertung von Maßnahmenkombinationen sinnvoll sein.
- Bei der Bildung synergetischer Maßnahmenbündel ist zu berücksichtigen, welche Einzelmaßnahmen sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern voraussichtlich in ihrer Wirkung positiv ergänzen.

### Handlungsfeldübergreifende Bewertung von Maßnahmen

- Das Bewertungsverfahren kann auch dazu verwendet werden, Maßnahmen aus unterschiedlichen Handlungsfeldern zu vergleichen, d.h. Maßnahmen mit unterschiedlichen Zielen (z. B. Hochwasserschutz, Schutz vor Hitzebelastung).
- In diesem Falle wären mehrere Ziele zu definieren und die Bewertungskriterien in Schritt 3 dementsprechend auszuwählen.

## *Fallbeispiel Stufe 2*

### Ziele der Maßnahmen

- Primäres Ziel: Senkung der thermischen Belastung im Rahmen der Neugestaltung eines zentralen städtischen Platzes in Jena (Eichplatz)
- Zusätzliche Ziele:
  - Steigerung der Aufenthaltsqualität
  - Ansprechende Platzgestaltung
  - Berücksichtigung von Aspekten, wie hohe Lebensdauer, Synergien mit anderen Anpassungsmaßnahmen etc.

### Mögliche Maßnahmen

- Begrünung, insbesondere:
  - Dächer
  - Fassaden
  - Grünelemente wie bspw. Pflanzkübel
- Verschattung, insbesondere:
  - Bäume
  - Dachüberstände
  - Markisen
- Anlage Wasserfläche:
  - Brunnen
- Erhöhung Rückstrahlungsvermögen von Oberflächen:
  - Bodenversiegelung mit hellen Materialien ("Pflasterung")

### 4.3 Stufe 3a: Definition von Bewertungskriterien

#### Definition von Bewertungskriterien: Kosten und Nutzen

- ➔ Welche positiven und negativen Aspekte sollen in die Bewertung einfließen?
- Mit Hilfe der Bewertungskriterien sollen alle relevanten Nutzenaspekte (positive Effekte) und Kosten (negative Effekte) erfasst werden.
- Die möglichen Ausprägungen der Kriterien sind zu definieren, z. B.
  - Quantitative Angaben in EUR
  - Zuordnung zu vorgegebenen Werten wie "bis 1 Monat/bis 1 Jahr/..."
  - Qualitative Abstufungen wie "sehr gering/gering/mittel..."
- Vgl. dazu beispielhaft "Bewertungsblatt für Einzelmaßnahmen" sowie Stufe 4 "Unsicherheiten in den Daten".

#### Mögliche Kostenkriterien

- Investitionskosten
- Reinvestitionskosten
- Laufende Kosten (Unterhaltungskosten)
- ➔ Die Summe dieser drei Kostenarten wird im **Kostenbarwert** erfasst (aggregierte und diskontierte Investitions-, Reinvestitions- und Unterhaltungskosten über den betrachteten Bewertungszeitraum).
- Außerdem können Transaktionskosten in die Bewertung einfließen. Dabei lassen sich z. B. auch erwartete Widerstände berücksichtigen, die sich nur qualitativ beschreiben lassen (vgl. "Einschätzung durch verschiedene Interessengruppen: gewünscht – neutral – umstritten").

#### Mögliche Nutzenkriterien

- Wirksamkeit (als qualitative Bewertung oder quantitative Schadensreduktion)

#### Weitere Nutzenkriterien:

- Zeit bis zum Eintreten des Effekts
- Lebensdauer (die Maßnahme mit der höchsten Lebensdauer bestimmt den Bewertungszeitraum)
- Abhängigkeit des Nutzens von unterschiedlichen Klimaszenarien
- Synergien und Konflikte mit anderen Maßnahmen
- Zusatznutzen in anderen Bereichen

## Fallbeispiel Stufe 3a

## Definition von Bewertungskriterien: Kosten und Nutzen

- Festlegung geeigneter Bewertungskriterien und Kategorien der Merkmalsausprägungen in Abstimmung mit lokalen Ansprechpartnern



Maßnahmenbezeichnung: .....

Szenario-Annahmen / Eckdaten						
.....						
.....						
Bewertungskriterien		Ausprägungen				
Lebensdauer	..... Jahre					
technischer Aufwand	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	
zeitliche Umsetzbarkeit	bis 1 Woche	bis 1 Monat	bis 1 Jahr	bis 5 Jahre	> 5 Jahre	
Kosten						
Investitionskosten (Planung, Umsetzung)	..... €					
Reinvestitionskosten über 100 Jahre	..... €					
laufende Kosten	..... € p.a.					
Kostenträger	.....					
Nutzen						
Wirksamkeitspotential – Schadenssenkung (%)	sehr hoch (80-100%)	hoch (60-80%)	mittel (40-60%)	gering (20-40%)	sehr gering (bis 20%)	
Zeit bis zum Eintreten des Effekts	sofort	bis ½ Jahr	bis 1 Jahr	bis 5 Jahre	bis 10 Jahre	> 10 Jahre
Abhängigkeit des Nutzens der Maßnahme davon, ob Klimawandel, wie erwartet, stattfindet	Nutzen unabhängig vom Klimawandel gegeben		Nutzen in geringem Maße abhängig vom Klimawandel		Nutzen nur in Abhängigkeit vom Klimawandel gegeben	
Synergien mit anderen Maßnahmen, die auf Schadensminderung abzielen	zahlreiche Synergien		Synergien		keine Synergien	
Konflikte mit anderen Maßnahmen, die auf Schadensminderung abzielen	keine Konflikte		Konflikte		zahlreiche Konflikte	
zusätzlicher Nutzen in Bereichen, die nichts mit Starkregenereignissen zu tun haben	hoch	mittel	gering	kein		
Einschätzung						
durch Kommunalpolitik	gewünscht		neutral		umstritten	
durch Bürgerschaft	gewünscht		neutral		umstritten	
durch Fachbehörde (Stadtplanung)	gewünscht		neutral		umstritten	

Tab. 1: Bewertungsblatt für Einzelmaßnahmen

- Kostenbarwert (mit 3 % p.a. diskontierte Investitions- und Unterhaltungskosten über 100 Jahre)
- Transaktionskosten: qualitative Einschätzungen des Aufwands der Planung und Umsetzung (inkl. möglicher Widerstände von Interessengruppen)
- Qualitative Einschätzungen der Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahme zur Senkung der thermischen Belastung, der Zeit bis zum Eintreten des Effekts, möglicher Synergien und Konflikte mit anderen Anpassungsmaßnahmen

## 4.4 Stufe 3b: Auswahl des Bewertungsverfahrens

### Auswahl des Bewertungsverfahrens

- Die Auswahl eines geeigneten Bewertungsverfahrens erfolgt anhand
  - der Art der Bewertungskriterien
  - und der Datenverfügbarkeit.
- ➔ Können sowohl alle relevanten Kosten als auch Nutzen monetär bewertet werden?
  - Anwendung der **Kosten-Nutzen-Analyse**
    - Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen der Maßnahme.
    - Der durch die Maßnahme abgewendete Schaden (oder Teil des Schadens) stellt den Nutzen dar.
    - Ergebnis: Die Maßnahme mit dem größten "Nettonutzen" (Nutzen - Kosten) wird ausgewählt.
- ➔ Lässt sich der positive Effekt durch einen einzelnen nicht-monetären Zielindikator ausdrücken und liegen die Kosten der Zielerreichung als monetäre Daten vor?
  - Anwendung der **Kosten-Wirksamkeits-Analyse**
    - Gegenüberstellung von Kosten und dem zu erwartenden Grad der Zielerreichung ("Wirksamkeit").
    - Ergebnis: Die Maßnahme wird ausgewählt, mit der ein gesetztes Ziel am günstigsten erreicht wird (bzw. die das günstigste Verhältnis von Kosten zum Grad der Zielerreichung hat).
- ➔ Spielen bei der Abwägung mehrere Zielkriterien eine Rolle und liegen die Daten für Kosten und Nutzen teilweise in monetären, teilweise aber auch als nicht-monetäre quantitative oder qualitative Daten vor?
  - Anwendung der **Multikriterien-Analyse**
    - Nutzung von Kriterien mit unterschiedlichen Einheiten (EUR, cm, % etc.).
    - Eine Gewichtung der verwendeten Kriterien ist notwendig (vgl. Stufe 3c).
    - Ergebnis: Die Bewertung der Maßnahmen liegt als Rangfolge vor, eingegangene Gewichtungen ergeben u.U. verschiedene Rangfolgen.

Eine Kurzanleitung zur Durchführung o.g. Verfahren befindet sich im Anhang 1.

*Fallbeispiel Stufe 3b*Auswahl des Bewertungsverfahrens

- Für das Fallbeispiel Jena Eichplatz ist keine Modellierung hitzestressbedingter Schäden vorhanden.
- Auch eine quantitative Abschätzung der Maßnahmeneffekte (wie z. B. PMV<sup>2</sup>-Wert-Differenzen) nur für einzelne Maßnahmen verfügbar.
  - Keine quantitative bzw. monetäre Abschätzung der Nutzen aller betrachteten Maßnahmen durchführbar
  - Einschätzung der Ausprägungen der qualitativen Zielkriterien durch Experten möglich
- Berücksichtigung mehrerer Zielgrößen, daher
  - Anwendung der Multikriterien-Analyse

---

<sup>2</sup> PMV-Werte (Predicted Mean Vote) können als Indikatoren thermischer Behaglichkeit mit Hilfe von mikroklimatischen Modellierungen, z.B. mit ENVI-met, ermittelt werden. Den PMV-Werten lassen sich hitze- oder kältestressbezogene Belastungsstufen zuordnen.

## 4.5 Stufe 3c: Gewichtung der Bewertungskriterien

### Gewichtung der Bewertungskriterien

(nur für die Multikriterien-Analyse notwendig)

- ➔ Mit welchem Gewicht sollen die einzelnen Bewertungskriterien in die Gesamtbewertung einfließen?
- Die Gewichtung erfolgt durch die Entscheidungsträger bzw. Stakeholder.
- Es bieten sich verschiedene Verfahren der Gewichtung an:
  - "Swing-Weight" - Verfahren
  - "100-Punkte Allokation"

(Für eine Kurzanleitung zur Durchführung der beiden Verfahren vgl. Anhang 2).

### Verfahren bei mehreren Entscheidungsträgern/Stakeholder-Gruppen

- Die Gewichtung kann von mehreren Entscheidungsträgern mit unterschiedlichen Präferenzen durchgeführt werden.
- Dadurch kann die Auswirkung der unterschiedlichen Präferenzen (Gewichtungssets) auf die Gesamtbewertung von Maßnahmen gezeigt werden.
- Ausgangspunkt für eine Diskussion über Kompromisslösungen

*Fallbeispiel Stufe 3c*Gewichtung der Bewertungskriterien

- Hypothetische Gewichtung für drei Stakeholder-Gruppen unter Verwendung der 100-Punkte-Allokation (siehe Anhang 2)

	Kriterium	Gewichtung (%)		
		Stakeholder 1 Architekt	Stakeholder 2 Politiker	Stakeholder 3 Bürger
1.	<b>Kosten</b>	60	60	35
1.1	Investitionskosten	40	50	30
1.2	Unterhaltungskosten	5	10	10
1.3	technischer Aufwand	15	5	10
1.4	zeitliche Umsetzbarkeit	10	10	15
1.5	politisch gewünscht	5	10	10
1.6	gesellschaftlich gewünscht	5	10	20
1.7	fachlich gewünscht	20	5	5
	<i>Summe</i>	100	100	100
2.	<b>Nutzen</b>	40	40	65
	Wirksamkeitspotential Hitze: Senkung			
2.1	thermischer Belastung	40	45	50
2.2	Zeit bis zum Eintreten des Effekts	10	15	15
2.3	Lebensdauer	10	15	10
2.4	Abhängigkeit des Nutzens vom Klimawandel	5	5	0
2.5	Synergien mit anderen Anpassungsmaßnahmen	10	5	5
2.6	Konflikte mit anderen Anpassungsmaßnahmen	10	5	0
2.7	Zusatznutzen in anderen Bereichen	15	10	20
	<i>Summe</i>	100	100	100

Tab. 2: Hypothetische Gewichtung der Bewertungskriterien durch Stakeholder

## 4.6 Stufe 4: Datenerhebung

### Datenbeschaffung

- Jede Maßnahme bzw. jedes Bündel soll nun anhand der definierten Kriterien bewertet werden, um sie auf Stufe 5 abschließend miteinander zu vergleichen. Das heißt mit Hilfe des Bewertungsblattes (vgl. Tabelle 3 u.4) werden für jede Maßnahme die jeweiligen Ausprägungen der Kriterien erhoben.
- ➔ Was sind mögliche Datenquellen?
- ➔ Wer kann die erforderlichen Daten zur Verfügung stellen?

### Datenquellen

- Datenquellen sind je nach Bewertungskriterium, Art der Maßnahme und Anwendungsfall sehr unterschiedlich, zum Beispiel (Quellen vgl. Anhang 3):
  - Baupreiskataloge, z. B. SIRADOS Baupreishandbuch 2011 sowie Online-Katalog, BKI: Objektdaten etc.
  - Honorarordnungen für Planungskosten, z. B. für Architekten (HOAI)
  - Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung (ABBV) z. B. für Richtwerte zu Lebensdauer und Unterhaltungskosten von baulichen Maßnahmen
  - Kommunale Anpassungskonzepte, wie z. B. der "StEP-Klima Berlin"
- Nicht für alle Bewertungskriterien und Maßnahmen lassen sich übertragbare Daten finden, da viele Informationen sehr spezifisch und einzelfallabhängig sind. Dies betrifft insbesondere die Wirksamkeit der Maßnahmen.
- Ergänzend können Daten in den Kommunen selbst erhoben werden, indem die jeweiligen Fachleute befragt oder Modellierungen in Auftrag gegeben werden.

### Unsicherheiten in den Daten

- Daten zu positiven und negativen Effekten von Klimaanpassungsmaßnahmen sind mit z.T. erheblichen Unsicherheiten behaftet:
  - Qualitative Experteneinschätzungen (z. B. "gering, mittel, hoch")
  - Quantitative Daten mit Unsicherheitsspannen (z. B. "300-450 EUR")
- Unsicherheiten in den Daten sollten dokumentiert (z. B. Spannweiten angegeben) und bei der Bewertung von Maßnahmen berücksichtigt werden.
- ➔ Welche Auswirkungen hat die Maßnahme im besten/im schlechtesten Fall?
- ➔ Lassen sich für ein zuvor gewähltes Kriterium keine Daten erheben?
- Ggf. Anpassung des Kriterienkatalogs (zurück zu Stufe 3)

Fallbeispiel Stufe 4

Datenbeschaffung

- Einschätzung der Datenverfügbarkeit und Identifizierung von relevanten Ansprechpartnern gemeinsam mit den Verantwortlichen der Stadtplanung.

Maßnahme		Kriterien						
		Kosten						
Nr.	Bezeichnung	Investitions- kosten (€) (Planung/Um- setzung)	laufende Kosten (€/a) (Unterhalt)	technischer Aufwand 1 = sehr gering 2 = gering 3 = mittel 4 = hoch 5 = sehr hoch	zeitliche Umsetzbarkeit 1 = bis 1 Monat 2 = bis 1 Jahr 3 = bis 5 Jahre 4 = > 5 Jahre	politische Sicht 1 = gewünscht 2 = neutral 3 = umstritten	gesellschaft- liche Sicht 1 = gewünscht 2 = neutral 3 = umstritten	fachliche Sicht 1 = gewünscht 2 = neutral 3 = umstritten
1.	Wasserfläche							
2.1	Begrünung: Pflanzkübel							
2.2	Begrünung: Dachbegrünung							
2.3	Begrünung: Fassadenbegrünung							
3.1	Verschattung: Dachüberstand							
3.2	Verschattung: Markise							
3.3	Verschattung: Bäume							
4.1	Erhöhung der Albedowerte: Pflaster							

Tab. 3: Datenmatrix der Alternativen und Kostenkriterien

Maßnahme		Kriterien						
		Nutzen						
Nr.	Bezeichnung	Wirksamkeit Senkung thermischer Belastung 1 = sehr hoch 2 = hoch 3 = mittel 4 = gering 5 = sehr gering	Zeit bis zum Eintreten des Effekts 1 = sofort 2 = bis 1 Jahr 3 = bis 5 Jahre 4 = bis 10 Jahre 5 = > 10 Jahre	Lebensdauer 1 = sehr hoch 2 = hoch 3 = mittel 4 = gering 5 = sehr gering	Abhängigkeit des Nutzens vom Klimawandel 1 = no-regret 2 = low-regret 3 = regret	Synergien mit anderen Anpassungs- maßnahmen 1 = zahlreiche Synergien 2 = Synergien 3 = keine Synergien	Konflikte mit anderen Anpassungs- maßnahmen 1 = keine Konflikte 2 = Konflikte 3 = zahlreiche Konflikte	Zusatznutzen in anderen Bereichen 1 = hoch 2 = mittel 3 = gering 4 = keine
1.	Wasserfläche							
2.1	Begrünung: Pflanzkübel							
2.2	Begrünung: Dachbegrünung							
2.3	Begrünung: Fassadenbegrünung							
3.1	Verschattung: Dachüberstand							
3.2	Verschattung: Markise							
3.3	Verschattung: Bäume							
4.1	Erhöhung der Albedowerte: Pflaster							

Tab. 4: Datenmatrix der Alternativen und Nutzenkriterien

### Datenquellen

- Interviews mit Experten (Stadtplanern, Architekten, Landschaftsarchitekten, Gewerbebetrieben, kommunalen Dienstleistern)
- Einschlägige wissenschaftliche Studien etc.

### Strategien im Umgang mit unsicheren Daten

- Erhebung von Unterhaltungskosten auf der Grundlage von Kostenkalkulationen für vergleichbare Projekte
- Verwendung von Spannbreiten bei monetären und qualitativen Daten
- Qualitative Einschätzungen der Transaktionskosten (durch mögliche Widerstände)

## 4.7 Stufe 5a: Durchführung der Bewertung

### Durchführung der Bewertung mit dem ausgewählten Bewertungsverfahren (vgl. Stufe 3)

- Die Bewertung kann ohne Einsatz einer Software durchgeführt werden, vgl. dazu die Kurzanleitung im Anhang 1.
- Die Nutzung einer Bewertungssoftware vereinfacht die Auswertung jedoch.
- Verfügbare Softwarelösungen sind z. B. Definite<sup>3</sup>, D-Sight<sup>4</sup>, SALDO<sup>5</sup>, ADx<sup>6</sup>, PRIMATE<sup>7</sup>.

### Beispiel: PRIMATE (ermöglicht Kosten-Nutzen-Analyse und Multikriterien-Analyse)

- Anlage der Entscheidungsmatrix (vgl. PRIMATE-Datenmaske in Tabelle 5) durch:
  - Eingabe der alternativen Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel (Zeilen) und der zu verwendenden Bewertungskriterien (Spalten).
  - Festlegung, ob Kriterien zu minimieren (kleinster Wert = Optimum) oder zu maximieren (größter Wert = Optimum) sind.
  - Angabe, ob Unsicherheiten in Kriterienwerten vorliegen (Spannweiten).
  - Festlegung der Schwellenwerte, ab denen eine Alternative einer anderen nicht (Indifferenz) oder eindeutig (Präferenz) vorzuziehen ist.
- Eingabe der erhobenen Daten für alle Maßnahmen aus der Datensammlung (vgl. Tab. 3 u. 4).
- Eingabe der Gewichte für die Einzelkriterien und für die Kriteriengruppen (Kosten und Nutzen).
- Nach Abschluss der Eingaben führt PRIMATE die Bewertung durch.

---

<sup>3</sup> Ermöglicht sowohl Multikriterienanalysen als auch Kosten-Nutzen-Analysen, <http://www.ivm.vu.nl/en/projects/Projects/spatial-analysis/DEFINITE/index.asp>

<sup>4</sup> Ermöglicht Multikriterienanalysen mit der PROMETHEE-Methode, <http://www.d-sight.com/>

<sup>5</sup> Ermöglicht die Bewertung von Klimaanpassungsoptionen anhand vorgegebener Bewertungskriterien, [www.austroclim.at/fileadmin/user\\_upload/StartClim2010\\_reports/StCl10\\_C\\_bewertungstool\\_FINALSchutz.xls](http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/StartClim2010_reports/StCl10_C_bewertungstool_FINALSchutz.xls)

<sup>6</sup> Ermöglicht Multikriterienanalysen, <http://weadapt.org/knowledge-base/adaptation-decision-making/adaptation-decision-explorer>

<sup>7</sup> Ermöglicht Multikriterienanalysen und Kosten-Nutzen-Analysen auch bei unsicheren Eingangsdaten, Die Bewertungssoftware PRIMATE kann interessierten Kommunen durch das UFZ < E-Mail: [volker.meyer@ufz.de](mailto:volker.meyer@ufz.de) > kostenfrei bereitgestellt werden.

Fallbeispiel Stufe 5a

Durchführung der Bewertung (Multikriterien-Analyse)

- Daten wurden, wie oben beschrieben mit PRIMATE analysiert

**Kosten**

- Investitionskosten
- Reinvestitionskosten
- Unterhaltskosten
- technischer Aufwand
- zeitliche Umsetzbarkeit
- Transaktionskosten

**Nutzen**

- Wirksamkeitspotential zur Senkung thermischer Belastung
- Zeit bis zum Eintreten des Effekts
- Lebensdauer
- Abhängigkeit des Nutzens vom Klimawandel
- Synergien und Konflikte mit anderen Maßnahmen
- Zusatznutzen in anderen Bereichen

**Maßnahmen**

*Wasserfläche:*

- Brunnen

*Begrünung:*

- Dächer
- Fassaden
- Grün-elemente

*Verschattung:*

- Bäume
- Dachüberhang
- Markisen

*Rückstrahlungsvermögen*

- Pflasterung

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Name des Kriteriums	Kostenbzw. Aufwand	Umsetzbar	TK_Politik	TK_Biogas	TK_Stadt	Wirksamkeit	Wirksamkeit	Lebensdauer	Regret	Synergie	Konflikt	Edi	Edi
Kurz	KB	KAT	KUZ	KTP	KTB	KTS	NW	NwZ	NL	NR	NS	NK	NCB
Zielsetzung (max/min)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Einheit													
Grenzwert Indifferenz	56463	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grenzwert Präferenz	593362	2	2	1	0	1	3	3	2	0	2	1	2
Unsicherheiten [y/n]	y	n	n	n	n	n	y	y	y	n	n	n	n
Unsicherheiten besch.	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi	Edi
Werte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Alternative AP	3.7E+3	2.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.5E+0	1.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	3.0E+0	2.0E+0	1.0E+0
Alternative W	5.3E+5	4.0E+0	3.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	3.0E+0	2.0E+0	2.0E+0
Alternative BD	2.6E+4	3.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	3.0E+0	2.5E+0	2.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0
Alternative BF	7.2E+3	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	3.0E+0	3.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	2.0E+0	2.0E+0
Alternative BP	1.2E+5	2.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	3.5E+0	2.5E+0	2.5E+0	1.0E+0	3.0E+0	2.0E+0	2.0E+0
Alternative VM	1.5E+5	3.0E+0	2.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	2.5E+0	1.0E+0	3.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	2.0E+0	3.0E+0
Alternative VB	5.5E+4	3.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	3.5E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0
Alternative VD	1.9E+5	4.0E+0	3.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	2.0E+0	4.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	3.0E+0	1.0E+0	3.0E+0

Tab. 5: Ausgefüllte PRIMATE-Datenmaske

- Eingabe der Gewichte für die Einzelkriterien und die Kriteriengruppen (Kosten und Nutzen) entsprechend der Tabelle 2.
- Start der Bewertung in PRIMATE.

## 4.8 Stufe 5b: Priorisierung der Maßnahmen

### Nutzung der Bewertungsergebnisse

- Als Ergebnis des Maßnahmenvergleichs durch eines der drei genannten Verfahren liegt eine Rangfolge der Maßnahmen vor.
  - Bei der Bewertung mit PRIMATE werden die Unsicherheiten in den Eingangsdaten und die Unsicherheiten durch die unterschiedlichen Gewichtungen in der Rangverteilung berücksichtigt.
  - Diese Unsicherheiten spiegeln sich in den Wahrscheinlichkeiten der Rangverteilung wider (vgl. Abbildung 5).
- Die ermittelte Rangfolge unterstützt die Entscheidungsfindung bei der Auswahl geeigneter und ökonomisch sinnvoller Maßnahmen.
- Verbleibende Unsicherheiten und eigene Bewertungsspielräume werden transparent gemacht und die Findung von Kompromisslösungen wird so erleichtert.
- ➔ Sind die Unsicherheiten in den Bewertungsergebnissen zu groß, um auf dieser Basis eine Entscheidung zu treffen?
  - Die Datenlage für ausgewählte Maßnahmen kann durch weitere Recherchen oder Gespräche mit Fachleuten verbessert werden (zurück zu Stufe 4).

## Fallbeispiel Stufe 5b

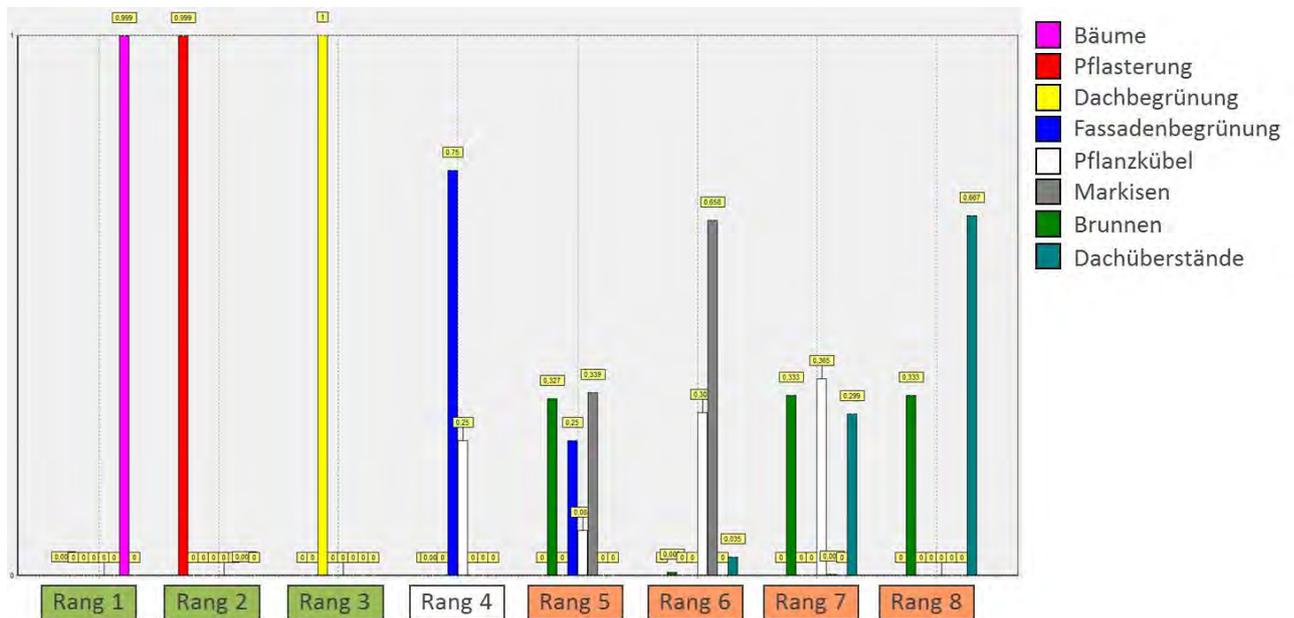
Bewertungsergebnisse

Abb. 4: Rangfolgen der bewerteten Maßnahmen

Anmerkung: Die Zahlen geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der der jeweilige Rang belegt wird

## Ergebnis auf Basis der hypothetischen Gewichtung:

1. Anpflanzung von Bäumen
2. Nutzung heller Bodenbeläge
3. Dachbegrünung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, ...

- ... dass die Maßnahmen Anpflanzung von Bäumen, Nutzung heller Bodenbeläge, Dach- und Fassadenbegrünung am besten für eine effiziente Senkung der thermischen Belastung geeignet sind.

... dass die Maßnahmen kleinteilige Begrünung bspw. mit Pflanzkübeln, Anbringen von Markisen und Dachüberständen sowie die Anlage eines Brunnens im Vergleich zu den zuvor genannten Maßnahmen weniger effizient sind, um die thermische Belastung zu senken.

## Anhang

### Anhang 1: Kurzanleitung Bewertungsverfahren

#### A) Vorgehen Kosten-Nutzen-Analyse

- Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei einer Kosten-Nutzen-Analyse in Kurzform beschrieben. Für weiterführende Literatur vgl. z. B. Hanusch (1994) oder Hanley & Spash (1993).
- Es wird angenommen, dass bereits Handlungsalternativen (Maßnahmen) bestimmt wurden und der Bewertungszeitraum festgelegt wurde (üblicherweise bestimmt die Handlungsalternative mit der längsten erwarteten Lebensdauer den Bewertungszeitraum). Alle Kosten und Nutzen der Handlungsalternativen lassen sich prinzipiell in monetären Einheiten erfassen.

1. Erfassung aller Kosten und Nutzen der Handlungsalternativen im Bewertungszeitraum:

Schätzen Sie für jedes Jahr des Bewertungszeitraums die zu erwartenden Kosten und Nutzen jeder Alternative ab (im Vergleich zur Referenzalternative = "do nothing"-Alternative). Investitionskosten fallen üblicherweise im Jahr 0 des Bewertungszeitraums an, laufende Kosten in jedem Jahr und ggf. sind nach einer gewissen Zeit Reinvestitionen notwendig. Nutzen von Klimaanpassungsmaßnahmen werden üblicherweise als durch die Maßnahme verminderte jährliche Schadenserwartung abgeschätzt (diese jährliche Schadenserwartung kann in monetärer Form nur durch Modellierungen abgeschätzt werden, d.h. müsste bei Ingenieurbüros in Auftrag gegeben werden)<sup>8</sup>. Durch den Klimawandel und andere gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen können sich dieser jährliche Schadenserwartungswert und somit auch der Nutzen einer Alternative im Bewertungszeitraum verändern.

2. Diskontierung von Kosten und Nutzen:

Kosten bzw. Nutzen, die zeitnah anfallen, werden im Allgemeinen höher bewertet als Kosten bzw. Nutzen, die erst in ferner Zukunft anfallen (da z. B. das Geld in der Zwischenzeit anders angelegt werden kann). Um Kosten bzw. Nutzen aus unterschiedlichen Zeitpunkten vergleichbar zu machen, werden sie auf ihren Gegenwartswert (GW) abdiskontiert. Der Gegenwartswert der Kosten (oder auch Kostenbarwert) errechnet sich folgendermaßen:

---

<sup>8</sup> Eine Arbeitshilfe für Hochwasserschadensabschätzungen wurde von DWA (2008) herausgegeben.

$$GW(Kosten) = K_0 + \frac{K_1}{(1+d)} + \frac{K_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{K_T}{(1+d)^T}$$

Wobei  $K_0$  bis  $K_T$  die Kosten aus den jeweiligen Jahren des Bewertungszeitraums sind und  $d$  die Diskontrate.<sup>9</sup> Bei der häufig verwendeten Diskontrate von 3% hieße das, dass die Kosten in Jahr 0 voll eingehen, die Kosten in Jahr 1 durch 1,03 geteilt werden, die Kosten in Jahr 2 durch  $1,03 \cdot 1,03$  geteilt werden usw. Für die Berechnung lässt sich leicht eine Excel-Tabelle anlegen. Das gleiche Vorgehen wird entsprechend für die Berechnung des Gegenwartswerts der Nutzen (oder Nutzenbarwert) durchgeführt.

### 3. Vergleich von Kosten und Nutzen und Bewertung der Handlungsalternativen:

Für jede Handlungsalternative kann nun der Nettogegenwartswert (oder Nettonutzen) berechnet werden, indem der Kostenbarwert vom Nutzenbarwert abgezogen wird. Eine Alternative mit einem negativen Nettogegenwartswert bedeutet eine Verschlechterung gegenüber der "do-nothing"-Alternative und sollte nicht durchgeführt werden. Ausgewählt wird die Alternative mit dem höchsten Nettogegenwartswert.

Wenn mehr als eine Handlungsalternative durchgeführt werden kann (z. B. wenn ein fixes Budget zur Verfügung steht und die Maßnahmen sich nicht gegenseitig ausschließen), kann auch statt des Nettogegenwartswerts die Nutzen-Kosten-Relation für die Bewertung genutzt werden. Diese ergibt sich, indem man den Nutzenbarwert durch den Kostenbarwert (diskontierte Investitions- und Unterhaltungskosten über 100 Jahre) teilt. Diejenigen Alternativen mit den höchsten Nutzen-Kosten-Relationen werden ausgewählt, bis das Budget erschöpft ist.

### 4. Sensitivitätsanalyse:

Bestehen Unsicherheiten in den Eingangsdaten (z. B. nur Angaben von Spannweiten für Nutzen oder Kosten) oder aber Unsicherheiten bzgl. der Wahl der richtigen Diskontrate, sollten Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, d.h. das oben beschriebene Verfahren sollte für die möglichen unterschiedlichen Ausprägungen in den Eingangsdaten (z. B. Minima und Maxima der Kosten oder Nutzen) und/oder unterschiedliche Diskontraten durchgeführt werden, um zu prüfen, ob diese Variationen einen Einfluss auf das Ergebnis (die Bewertung der einzelnen Maßnahmen und deren Rangfolge) haben.

---

<sup>9</sup> Die Diskontrate bestimmt, wie stark zukünftige Werte abdiskontiert werden und hat damit einen recht starken Einfluss auf die Ergebnisse. Häufig wird eine Diskontrate von 3% verwendet. Z.T. wird kritisiert, dass Kosten und Nutzen zukünftiger Generationen damit zu stark abgewertet werden und es werden geringere Diskontraten oder über die Zeit sinkende Diskontraten empfohlen.

## B) Vorgehen Kosten-Wirksamkeits-Analyse

- Im Folgenden wird die Vorgehensweise einer einfachen Kosten-Wirksamkeits-Analyse beschrieben. Für weiterführende Literatur vgl. z. B. Hanusch (1994).
- Es wird davon ausgegangen, dass bereits Handlungsalternativen (Maßnahmen) bestimmt wurden und der Bewertungszeitraum festgelegt wurde. Alle Kosten der Handlungsalternativen lassen sich in monetären Einheiten erfassen. Für die Nutzen wurde von den Entscheidungsträgern ein nicht-monetärer Zielindikator definiert (Wirksamkeit der Maßnahme: z. B. Reduzierung der Hitzebelastung, Schutz vor bis zu 100-jährlichen Hochwasserereignissen, o.ä.)<sup>10</sup>. Der Zielindikator kann in seiner Ausprägung quantitativ (z. B. Schutz von einer bestimmten Anzahl von Einwohnern) oder auch qualitativ sein (z. B. geringe, mittlere, hohe Wirksamkeit).

### 1. Erfassung der Kosten und Wirksamkeit der Handlungsalternativen im Bewertungszeitraum:

Ermitteln Sie wie bei der Kosten-Nutzen-Analyse den Kostenbarwert der verschiedenen Handlungsalternativen und schätzen Sie die Wirksamkeit jeder Alternative anhand des festgelegten Zielindikators ab.

### 2. Bewertung der Handlungsalternativen:

Wurde zu Beginn ein Ziel definiert, das erreicht werden soll (also ein gewisser Wert des Zielindikators, z. B. Schutz vor bis zu 100-jährlichen Hochwasserereignissen, Erreichung eines guten ökologischen Zustandes), so wird diejenige Alternative ausgewählt, die dieses Ziel zu den geringsten Kosten erreicht. Besteht hingegen ein fixes Budget und die Maßnahmen schließen sich nicht gegenseitig aus, so werden die Maßnahmen mit dem höchsten Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis ausgewählt bis das Budget erschöpft ist.

### 3. Sensitivitätsanalysen:

Entsprechend der Kosten-Nutzen-Analyse können auch hier Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob Variationen in den Eingangsdaten Auswirkungen auf das Endergebnis haben.

---

<sup>10</sup> Eine Kosten-Wirksamkeits-Analyse kann auch mit mehreren Wirksamkeitsindikatoren arbeiten (vgl. Hanusch 1994). In diesem Fall kommt sie einer Multikriterien-Analyse nah.

### C) Vorgehen Multikriterien-Analyse

- Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren der Multikriterien-Analyse, die hier nicht alle im Einzelnen vorgestellt werden können. Für einen Überblick vgl. z. B. Zimmermann & Gutsche (1991).
- Im Folgenden sollen lediglich zwei sehr einfache Formen der Multikriterien-Analyse kurz erläutert werden. Für komplexere Verfahren bietet sich die Nutzung einer Bewertungssoftware an (z. B. Definite<sup>11</sup>, D-Sight<sup>12</sup>, SALDO<sup>13</sup>, ADx<sup>14</sup>, PRIMATE<sup>15</sup>). [Siehe vorangegangene Anmerkung zu der Software]
- Auch wird davon ausgegangen, dass bereits Handlungsalternativen (Maßnahmen) bestimmt wurden und der Bewertungszeitraum festgelegt wurde. Zudem wurden von den Entscheidungsträgern Bewertungskriterien festgelegt, anhand derer die unterschiedlichen Alternativen bewertet werden.

#### a) Gegenüberstellung der Alternativen: Bildung einer Entscheidungsmatrix

- Der erste Schritt eines multikriteriellen Verfahrens ist es, eine Entscheidungsmatrix zu bilden. Dabei werden die Handlungsalternativen in Zeilen untereinander und die Bewertungskriterien in Spalten geschrieben. In die Felder der Matrix wird die Ausprägung der jeweiligen Alternative im jeweiligen Kriterium eingetragen.
- Diese Entscheidungsmatrix stellt zugleich das einfachste Verfahren der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung dar: Sie gibt eine Übersicht über das Abschneiden der Handlungsalternativen in den unterschiedlichen Kriterien und zeigt Stärken und Schwächen auf. Sie kann so als Diskussionsgrundlage in Entscheidungsprozessen dienen, um die jeweiligen Vor- und Nachteile der Alternativen abzuwägen. Häufig kann dies schon ausreichen, um gut abgewogene Entscheidungen zu treffen. Die Bildung einer eindeutigen Rangfolge ist so aber nicht (bzw. nur in seltenen Fällen) möglich.

#### b) Einfache Additive Gewichtung

- Um eine eindeutige Rangfolge zu bilden, müssen die unterschiedlichen Kriterien letztlich wieder zusammengefasst werden. Das einfachste Verfahren hierfür ist die Additive Gewichtung

---

<sup>11</sup> Ermöglicht sowohl Multikriterienanalysen als auch Kosten-Nutzen-Analysen, <http://www.ivm.vu.nl/en/projects/Projects/spatial-analysis/DEFINITE/index.asp>

<sup>12</sup> Ermöglicht Multikriterienanalysen mit der PROMETHEE-Methode, <http://www.d-sight.com/>

<sup>13</sup> Ermöglicht die Bewertung von Klimaanpassungsoptionen anhand vorgegebener Bewertungskriterien, [www.austroclim.at/fileadmin/user\\_upload/StartClim2010\\_reports/StCl10\\_C\\_bewertungstool\\_FINALSchutz.xls](http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/StartClim2010_reports/StCl10_C_bewertungstool_FINALSchutz.xls)

<sup>14</sup> Ermöglicht Multikriterienanalysen, <http://weadapt.org/knowledge-base/adaptation-decision-making/adaptation-decision-explorer>

<sup>15</sup> Ermöglicht Multikriterienanalysen und Kosten-Nutzen-Analysen auch bei unsicheren Eingangsdaten, PRIMATE wurde am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ von Dr. Martin Drechsler entwickelt und kann interessierten Kommunen zur Verfügung gestellt werden. Kontakt: [volker.meyer@ufz.de](mailto:volker.meyer@ufz.de)

### 1. Standardisierung der Kriterienwerte:

Um die Kriterienwerte vergleichbar zu machen, müssen sie zunächst alle auf Werte zwischen 0 und 1 standardisiert werden. Das einfachste Verfahren hierfür ist es, jeden Wert in der oben beschriebenen Entscheidungsmatrix durch den höchsten erzielten oder maximal möglichen Wert für das jeweilige Kriterium (d.h. in der jeweiligen Spalte der Entscheidungsmatrix) zu teilen. Kostet eine Alternative beispielsweise 2.000 EUR und die Kosten der teuersten Alternative sind 10.000 EUR, dann bekommt die erste Alternative den standardisierten Wert  $2.000/10.000=0,2$  und die teuerste Alternative den standardisierten Wert 1.

### 2. Gewichtung der Kriterien:

Die Kriterienwerte liegen somit in einer einheitlichen, neutralen Einheit vor und könnten bereits aufaddiert werden. Dies würde eine Gleichgewichtung aller Kriterien bedeuten. Eine solche Gleichgewichtung liegt aber in der Realität selten vor, d.h. häufig erachten Entscheidungsträger einige Bewertungskriterien für ihre Entscheidung für wichtiger als andere. Es sollte daher eine Gewichtung der Bewertungskriterien durch die Entscheidungsträger vorgenommen werden. Zwei einfache Verfahren zur Gewichtung von Bewertungskriterien werden in Anhang 2 kurz erläutert.

### 3. Gesamtbewertung der Handlungsalternativen:

Die standardisierten Werte in der Entscheidungsmatrix werden jeweils mit dem ermittelten Gewicht des jeweiligen Bewertungskriteriums multipliziert. Anschließend werden alle standardisierten und gewichteten Kriterienwerte für jede Handlungsalternative aufaddiert. Je höher dieser Wert für eine Alternative ist, desto besser ist diese.

### 4. Sensitivitätsanalyse:

Auch hier kann bei Unsicherheiten in den Eingangsdaten die Bewertung für unterschiedliche mögliche Ausprägungen (z. B. Minima und Maxima) wiederholt werden. Ebenso kann die Bewertung für unterschiedliche Gewichtungssätze (z. B. bei mehreren Entscheidungsträgern) durchgeführt werden, um die Auswirkungen auf die Ergebnisse und die Rangfolge der Alternativen zu demonstrieren.

## **Anhang 2: Kurzanleitung Gewichtungsverfahren**

### "Swing-Weight"-Verfahren

1. Bildung einer Rangfolge der Kriterien: Der Entscheidungsträger wird befragt, bei welchem der Kriterien ihm eine Verbesserung (bzw. "swing" oder Schwung) von der schlechtesten zur bestmöglichen Ausprägung am wichtigsten (zweit-, drittichtigsten, ...) wäre.
2. Das wichtigste Kriterium wird mit 100 Punkten bewertet. Der Entscheidungsträger wird befragt, wie wichtig ihm das zweitwichtigste Kriterium dann im Verhältnis zum ersten auf einer Skala von 0 bis 100 wäre. Ist es ihm z. B. halb so wichtig, vergibt er 50 Punkte. Für das drittichtigste Kriterium könnten dann im Beispiel 0-50 Punkte vergeben werden usw.
3. Abschließend wird eine "Normalisierung" der Gewichte durchgeführt, das heißt, das jeweilige Gewicht eines Kriteriums wird durch die Summe aller Gewichte geteilt. Dadurch ergeben sich Gewichte zwischen 0 und 1. Die Summe aller Gewichte beträgt dann 1.

### 100-Punkte Allokations-Verfahren

1. 100 Punkten werden durch den Entscheidungsträger auf die Kriterien entsprechend ihrer Wichtigkeit verteilt.
2. Auch hier erfolgt abschließend eine Normalisierung der Gewichte, indem alle Kriteriengewichte durch 100 geteilt werden.

### Anhang 3: Beispiele für Datenquellen

<b>Bauliche Maßnahmen</b>
<p>Baupreiskataloge, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SIRADOS Baupreishandbuch 2011 sowie Online Kataloge.</li> <li>• Baukosteninformationszentrum: BKI Objektdaten (verschiedene Bände), Baukosten Bauelemente, Baukosten Positionen.</li> </ul>
<p>Planungsleistungen, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI).</li> </ul>
<p>Gesetzgebung des Bundes / der Länder, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung (ABBV) für Richtwerte zur Lebensdauer und zu Unterhaltungskosten für bauliche Maßnahmen.</li> <li>• Verordnung über Zuweisungen vom Bau von Abwasseranlagen (Hessen), Anlage Kostenrichtwerte.</li> <li>• Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben (z. B. Bayern).</li> </ul>
<p>Wissenschaftliche Studien und Merkblätter, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heribert Eschenbruch: Neue Kennzahlen – Darstellung über die Erstellung und Unterhaltung von Grünanlagen überarbeitet. In: Stadt und Grün 9/2012, S. 7-11</li> <li>• Köhler, M. (2011): Quantifizierbare Vorteile begrünter Dächer, in: Detail. Zeitschrift für Architektur und Baudetail Nr. 11, S.1438-1446.</li> <li>• Kolb, W. (2002): Dachbegrünung wirtschaftlich, in Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege 66, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, S.161-165.</li> <li>• Motsch, N. (2009): Von der Bauplanung zur Gebäudebewirtschaftung: Ein integrales Bewertungs- und Transformationsmodell.</li> <li>• Giesel, D. (2001): Teuer, aber dafür schön. Langfristige Kosten-Nutzen-Analyse spricht für die Dachbegrünung, in: Deutsches Ingenieurblatt Nr. 6, S.24-29.</li> <li>• Warm, H.-J. et al. (2007): Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen), UBA Texte 42/07.</li> </ul>
<b>Landwirtschaftliche Maßnahmen</b>
<p>Wissenschaftliche Studien und Merkblätter, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre Universität Hohenheim (2007): Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz: 10 Steckbriefe für 12 Maßnahmen.</li> <li>• Bundesverband Boden (2004): BVB-Merkblatt Band 1 Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion.</li> <li>• Landesanstalt für Pflanzenbau Baden-Württemberg (2005): Der heimliche Verlust der Bodenfruchtbarkeit durch Wassererosion. Pflanzenbaulich-standortkundliche und betriebswirtschaftliche Bewertung von Bodenerosion mit Maßnahmen zu deren Vermeidung für Landwirte und Berater.</li> <li>• Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2011): Merkblatt: Gefahrenabwehr bei Bodenerosion, Reihe Bodenschutz Heft 25.</li> <li>• Brand-Sassen, H. (2004): Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft - Stand und Verbesserungsmöglichkeiten.</li> </ul>

<b>Anpassungsmaßnahmen im urbanen Raum</b>
<p>Datenbanken, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimalotse des UBA - <a href="http://www.klimalotse.anpassung.net">http://www.klimalotse.anpassung.net</a></li> <li>• Stadtklimalotse des BBSR - <a href="http://www.stadtklimalotse.net">http://www.stadtklimalotse.net</a></li> </ul>
<p>Kommunale Anpassungsstrategien und deren Zusatzdokumente, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadtentwicklungsplan Klima Berlin - <a href="http://www.stadtentwicklung.berlin.de/download/step_klima_ag/STEP_Klima.pdf">http://www.stadtentwicklung.berlin.de/download/step_klima_ag/STEP_Klima.pdf</a></li> </ul>
<p>Handbücher, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena - <a href="http://www.jenkas.de/images/download/JenKAS-Handbuch_einer_klimawandelgerechten_Stadtentwicklung_Web.pdf">http://www.jenkas.de/images/download/JenKAS-Handbuch_einer_klimawandelgerechten_Stadtentwicklung_Web.pdf</a></li> <li>• Handbuch Klimaanpassung. Bausteine für die Nürnberger Anpassungsstrategie - <a href="http://www.nuernberg.de/imperia/md/klimaanpassung/dokumente/klimaanpassung_handbuch_low.pdf">http://www.nuernberg.de/imperia/md/klimaanpassung/dokumente/klimaanpassung_handbuch_low.pdf</a></li> <li>• ExWoSt-Modellvorhaben – Innenentwicklung versus Klimakomfort, Nachbarschaftsverband Karlsruhe <a href="http://www.nachbarschaftsverband-karlsruhe.de/b4/exwost/HF_sections/content/ZZkHSr5tGIMDWn/ZZkNvxspnzilQZ/ExWoSt_NVK_A4_Web.pdf">http://www.nachbarschaftsverband-karlsruhe.de/b4/exwost/HF_sections/content/ZZkHSr5tGIMDWn/ZZkNvxspnzilQZ/ExWoSt_NVK_A4_Web.pdf</a></li> <li>• Städtische Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionenmaßnahmen, Landeshauptstadt Saarbrücken <a href="http://www.saarbruecken.de/assets/2013_4/1365089333_exwost_lhs_endbericht_dezember2012.pdf">http://www.saarbruecken.de/assets/2013_4/1365089333_exwost_lhs_endbericht_dezember2012.pdf</a></li> <li>• Handbuch Stadtklima - <a href="http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/handbuch_stadtklima.pdf">http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/handbuch_stadtklima.pdf</a></li> <li>• Städtebauliche Klimafibel Online - <a href="http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/">http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/</a></li> <li>• TU Darmstadt. Institut WAR. Merkblatt Bauwirtschaft, Wasserwirtschaft und Planung. Klaranet (Netzwerk zur KLimaAdaption in der Region StArkenburg). Online: <a href="http://www.klimazwei.de/Portals/0/Checkliste_KLARA-Net_Bauwirtschaft.pdf">http://www.klimazwei.de/Portals/0/Checkliste_KLARA-Net_Bauwirtschaft.pdf</a></li> <li>• Sustainability Center Bremen: Klimaanpassung im Planungsverfahren. Leitfaden für die Stadt- und Regionalplanung. Bremen. Online: <a href="http://www.klimazwei.de/LinkClick.aspx?fileticket=Vz2iQ1bB6gQ%3D&amp;tabid=144&amp;language=de-DE">http://www.klimazwei.de/LinkClick.aspx?fileticket=Vz2iQ1bB6gQ%3D&amp;tabid=144&amp;language=de-DE</a></li> </ul>

Tab. 6: Beispiele für mögliche Datenquellen

## **Anhang 4: Fallstudien**

In vier Praxisfallbeispielen wurde der Leitfaden zur Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen erprobt:

### Beispiel 1: Hochwasserschutz an der Leutra in Jena

Die Leutra hat in Folge von Starkregenereignissen wiederholt im Innenstadtbereich der Überschwemmungen verursacht. Eine Neugestaltung des Rechenbauwerks am Zugang des Tunnels, in dem die Leutra das Stadtgebiet durchquert, soll das Hochwasserrisiko bereits kurzfristig deutlich senken. In Zusammenarbeit mit der Stadt Jena wurden die verschiedenen möglichen Ausführungsvarianten mit Hilfe eines multikriteriellen Verfahrens bewertet und priorisiert. Eine Empfehlung für eine Vorzugsvariante wurde ausgesprochen.

### Beispiel 2: Neugestaltung Eichplatz (Vermeidung von Überhitzung) in Jena

Im Zuge der Neubebauung des Eichplatzes sollen bei der Auswahl des umzusetzenden Gestaltungskonzepts Aspekte der Klimaanpassung berücksichtigt werden. In Vorbereitung der Beurteilung der im Rahmen eines europaweiten Realisierungswettbewerbs einzureichenden Entwürfe wurden mögliche platzgestalterische Elemente hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ihrer Umsetzung in Bezug auf die angestrebte Verbesserung der mikroklimatischen Situation bewertet. Das Ergebnis dieser Analyse wurde als Information an die Wettbewerbsteilnehmer vermittelt und so schon bei der Erstellung bzw. der Überarbeitung der Entwürfe berücksichtigt.

### Beispiel 3: Betrieblicher Hochwasserschutz für das Unternehmen Berzelius in Stolberg bei Aachen

Unter Zuhilfenahme des Leitfadens zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung wurden zusammen mit dem Sicherheitsingenieur des Unternehmens unterschiedliche Maßnahmenbündel zum betrieblichen Hochwasserschutz entwickelt, bewertet und schließlich mithilfe einer Multikriterien-Analyse priorisiert.

### Beispiel 4: Niederschlagswassermanagement im Neubaugebiet Richterich Dell in Aachen

Der Leitfaden zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung wurde im Rahmen der Überarbeitung eines Bebauungsplans für ein neues Wohngebiet in Aachen eingesetzt. Dabei wurden zusammen mit Stadtplanern der Stadt Aachen verschiedene Maßnahmenbündel, die sich v.a. hinsichtlich des Ausmaßes des Entsiegelungsgrads sowie der Nutzung von begrünten Dachflächen unterscheiden, hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Ableitung und Versickerung des Niederschlagswassers hin untersucht. Auf Grundlage der multikriteriellen Bewertung wurde eine Empfehlung für eine der erwogenen Gestaltungsvarianten ausgesprochen.

## Beispiel 1: Hochwasserschutz an der Leutra in Jena

Die Leutra ist ein Gewässer zweiter Ordnung mit einem Einzugsgebiet von ca. 36km<sup>2</sup>, das aus dem Mühlital kommend das Stadtgebiet durchquert, bevor es im Jenaer Paradies in die Saale mündet. Ab dem Carl-Zeiß-Platz wird die Leutra unterirdisch in einem ca. 560m langen Kanal geführt.

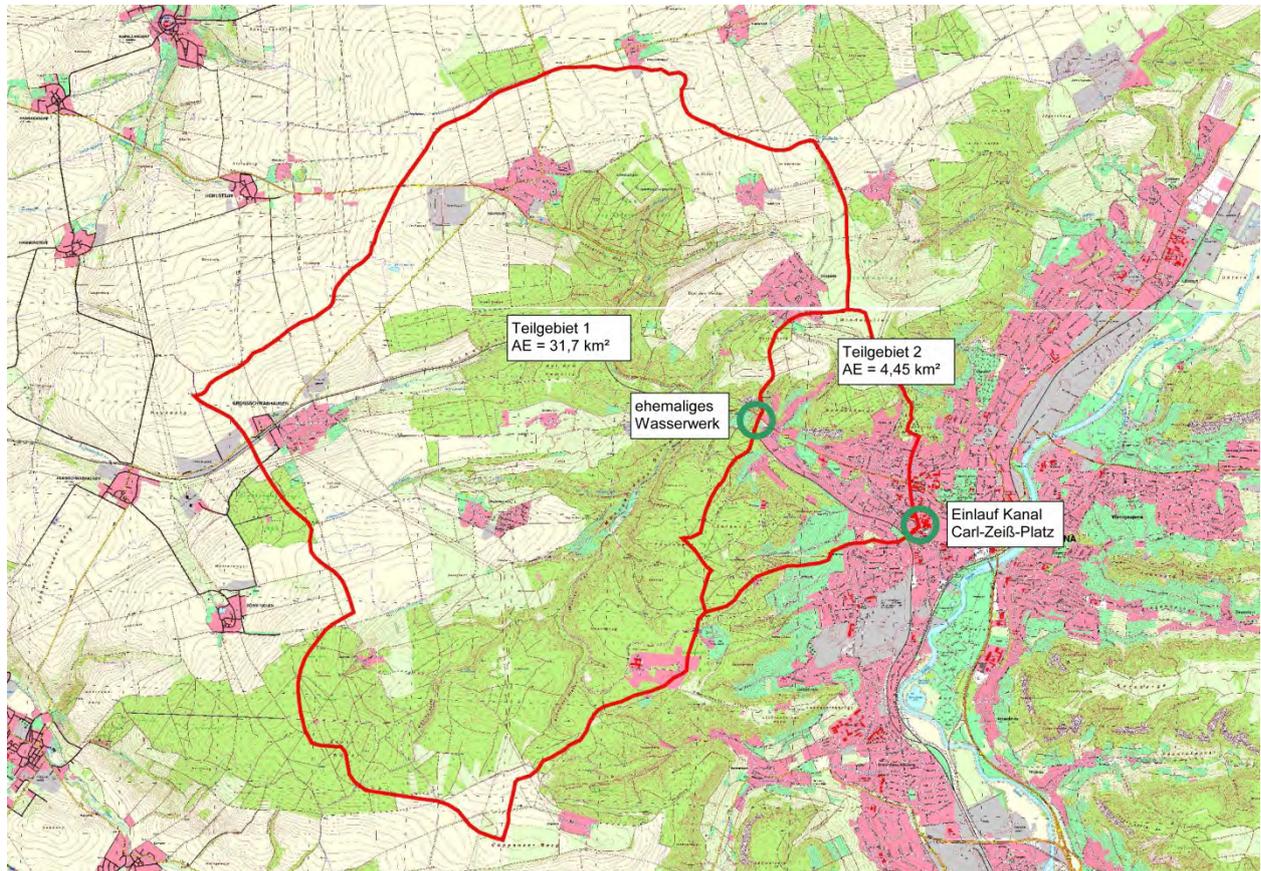


Abb. 5 Leutra Einzugsgebiet

In Folge von Starkregenereignissen hat das Gewässer mehrmals im Innenstadtbereich an der Kanaleinmündung am Carl-Zeiß-Platz zu Überschwemmungen geführt. Davon waren nicht nur der Platz sondern auch die Untergeschosse der umliegenden Gebäude, u.a. die Tiefgarage des Einkaufszentrums Goethe-Galerie, betroffen. Das mögliche Schadenspotenzial einer starken Überschwemmung durch die Leutra im Innenstadtbereich wird auf ca. 2 Mio. EUR geschätzt.



Abb. 6: Goethe-Galerie bei Leutra-Hochwasser 1994, Räumung Leutra-Rechen 2006

Eine Auswertung historischer Daten ergab, dass Überschwemmungen der Leutra v.a. infolge sommerlicher Starkregenereignisse auftraten. Der Zusammenhang zwischen Starkregenereignissen und Überschwemmungen konnten durch eine Auswertung der Einsatzdatenbank der Jenaer Feuerwehr und zeitlich hoch aufgelöster Niederschlagsdaten durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (ThINK) bestätigt werden.

Die Stadt Jena ist bemüht, das Risiko erneuter Überschwemmungen nachhaltig zu senken. Eine hierfür notwendige Strategie, die die bestehenden Rahmenbedingungen berücksichtigt, muss sowohl langfristige als auch kurzfristige Elemente kombinieren.

Mögliche, jedoch unterschiedlich realistische langfristige Handlungsoptionen sind: die (Teil-)Öffnung des Leutra-Tunnels; die Erweiterung des Leutra-Tunnels um eine zweite Röhre; ein verändertes Versickerungsmanagement entlang der Leutra innerhalb des Stadtgebiets sowie eine Veränderung der Flächennutzung und/oder die Anlage von Rückstaumöglichkeiten am Oberlauf des Gewässers (außerhalb der Ortslage).



Abb. 7: Beschädigtes Rechenbauwerk am Zugang zum Leutra-Tunnel

Die Neugestaltung des Einlaufs ist notwendig, weil der Zustand des vorhandenen Rechenbauwerks als mangelhaft eingeschätzt wird. Im Zuge der regelmäßigen Bäumung wurde der Rechen erheblich beschädigt (vgl. Abbildung 7). Die Funktionsfähigkeit ist zudem nur eingeschränkt gegeben, weil der Zulauf zum Leutra-Tunnel im Hochwasserfall häufig durch Treibgut blockiert wird. Experten zufolge kann

durch eine Neugestaltung des Tunnelzugangs eine Erhöhung des Hochwasserschutzniveaus von HQ20 auf HQ50 realisiert werden.

Eine Übersicht der möglichen Ausführungsvarianten des neu zu gestaltenden Rechenbauwerks gibt Tabelle 7. Abbildung 8 zeigt zwei der vergleichend zu bewertenden die Ausführungsvarianten (Variante 4 und Variante 6).

Variante	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	Einseitiger, stehender Rechen direkt am vorhandenen Einlauf	Senkrechter Rechen mit einseitiger Schräge, Befestigung an Stahlbetonkonstruktion (Trog), einseitige Schräge zur Vermeidung der Rodung einer angrenzenden Kastanie
4	Stehender Dreieck-Rechen (wie Variante 2) ca. 7 m versetzt (Teilabbruch Leutra-Tunnel)	Vgl. Variante 2
5	Liegender Rechen (wie Variante 1) ca. 10 m versetzt (Teilabbruch Leutra-Tunnel)	Vgl. Variante 1
6	Tosbecken ca. 30 m stromabwärts (Teilabbruch Leutra-Tunnel)	Versetzung des Einlauffunnels um ca. 30 m stromabwärts, Ablagerung des Schwemmguts im Stauraum des Tosbeckens

Tab. 7: Ausführungsvarianten des Rechenbauwerks an der Leutra

Die für die Bewertung zu verwendenden Kriterien (vgl. Tabelle 8) sowie deren Ausprägungen werden durch die Verantwortlichen für Planung, Umsetzung und Unterhaltung des Leutra-Rechens u.a. auf Basis eines vorliegenden ingenieurwissenschaftlichen Gutachtens festgelegt und übermittelt. Unsicherheiten werden über die Nutzung von Bandbreiten für einzelne Werte berücksichtigt. Die Gewichtung der Kriterienwerte wird vom kommunalen Dienstleistungsunternehmen "kommunal service jena" (KSJ), das für den Bau und die Unterhaltung des Bauwerks verantwort-

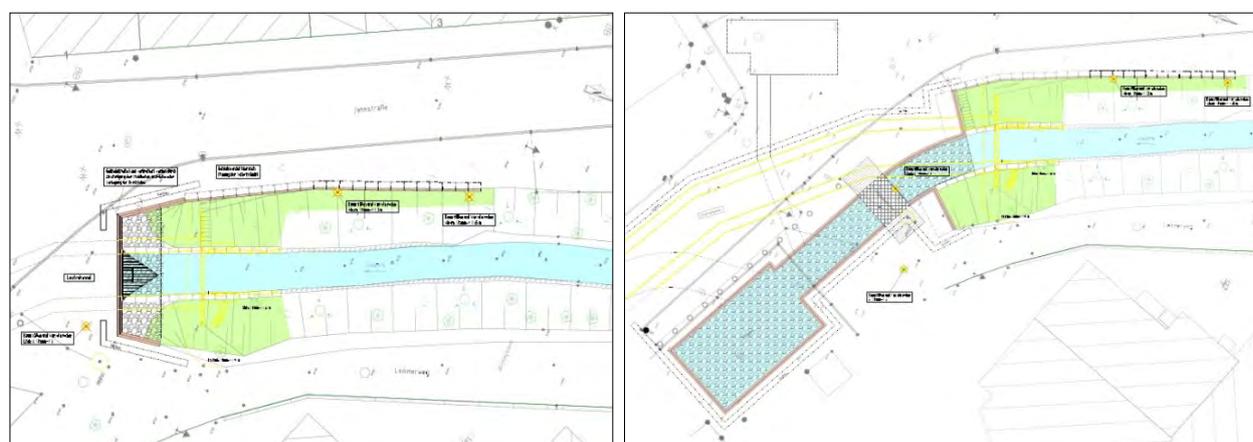


Abb. 8: Rechenbauwerk-Variante 4 und 6

lich ist, sowie von Vertretern der Fachbereiche Bauen und Umwelt sowie Stadtentwicklung und Stadtplanung der Jenaer Stadtverwaltung vorgenommen. Tabelle 8 gibt eine Übersicht der verwendeten Bewertungskriterien.

Kosten	Nutzen
1. Kostenbarwert (10 Jahre, 3% p.a. Diskontrate) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Reinvestitionskosten</li> <li>• Unterhaltungskosten</li> </ul>	2. Wirksamkeit
	3. Beschädigungsarme Wartung
	4. Ökologische Aspekte
	5. Gestalterische Aspekte

Tab. 8: Bewertungskriterien für die Maßnahmen zum Hochwasserschutz an der Leutra

Das wichtigste kostenseitige Bewertungskriterium stellt der Kostenbarwert dar. Dieser wird durch die Aggregation der Investitions-, Reinvestitions- und Unterhaltungskosten für jede einzelne Alternative und deren Diskontierung mit 3% p.a. über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet.

In Ermangelung einer modellierungsbasierten Einschätzung der Auswirkungen der einzelnen Rechen-Varianten erfolgt nutzenseitig in Abstimmung mit Experten eine qualitativ-vergleichende Abschätzung deren Wirksamkeit. Als weitere Nutzenkriterien gehen die Möglichkeit der beschädigungsarmen Wartung sowie gestalterische und ökologische Aspekte in die multikriterielle Bewertung ein. Die jeweiligen Ausprägungen des letztgenannten Kriteriums ergeben sich u.a. aus der unterschiedlichen Art und Anzahl von Bäumen, die für die Umsetzung der einzelnen Varianten gefällt werden müssen.

Die Multikriterien-Analyse kann ohne eine Bewertungssoftware durchgeführt werden, deren Einsatz vereinfacht die Auswertung jedoch. Die Software PRIMATE nutzt für die Durchführung der Multikriterien-Analyse das PROMETHEE-Verfahren, das einen paarweisen Vergleich aller Handlungsalternativen über die Bewertungskriterien durchführt. Dabei werden die Stimmen, die für ("Ausgangsflüsse") und diejenigen die gegen ("Eingangsflüsse") eine Alternative sprechen ermittelt und gewichtet zu Nettoflüssen zusammengefasst.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Für nähere Informationen zum Verfahren vgl. Drechsler, M. (2004): PRIMATE - An interactive software for Probabilistic Multi-Attribute Evaluation, Software-Handbuch, Leipzig.

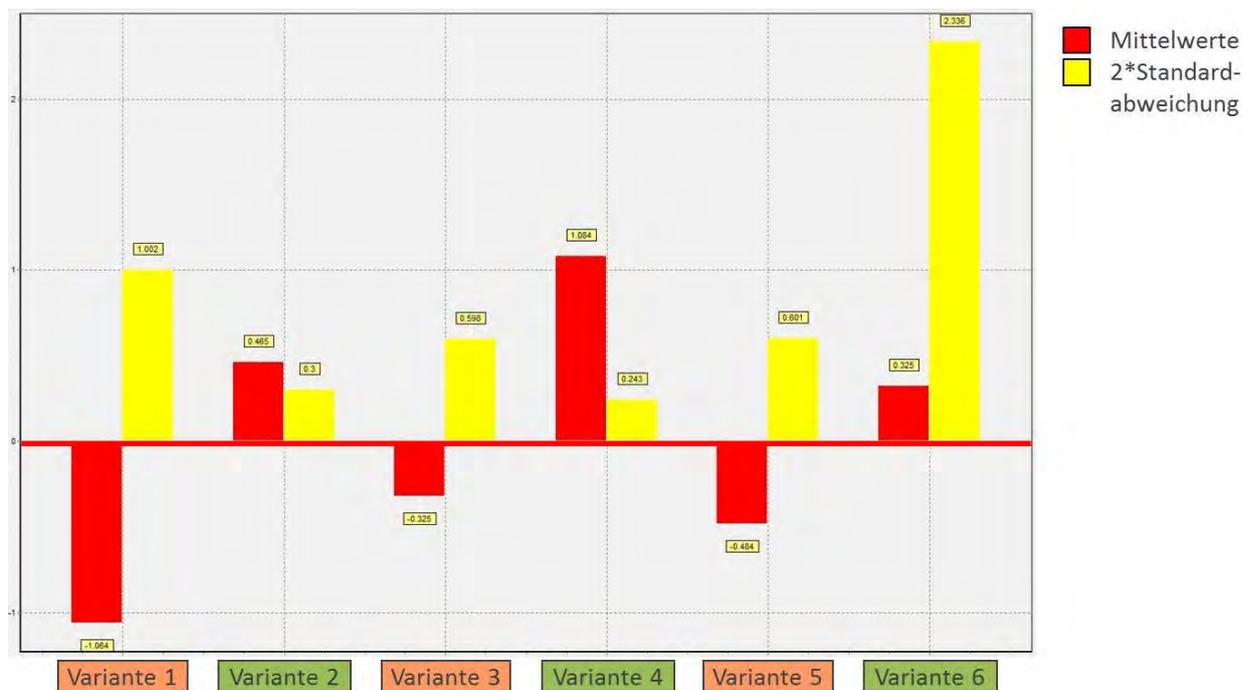


Abb. 9: Nettoflüsse der bewerteten Varianten des Rechenbauwerks

Anmerkung: Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\triangleq$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet die betrachtete Variante ab.

In Abbildung 9 werden diese Nettoflüsse für die einzelnen Varianten als Ergebnis der Gesamtbewertung, d.h. der Abwägung unter Berücksichtigung aller Entscheider, dargestellt. Die roten Balken geben die Nettoflüsse an. Diese können als Saldo der gewichteten Stimmen interpretiert werden, die für bzw. gegen die jeweilige Alternative sprechen. Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\triangleq$  Contra-Stimmen) ist, desto eher (weniger) ist die Variante geeignet. Die gelben Balken verdeutlichen die Unsicherheiten, die sich durch die Verwendung unterschiedlicher Kriteriengewichtungen durch die Entscheidungsträger ergeben.

Der Vergleich der Gesamt-Nettoflüsse erlaubt unter Berücksichtigung der Standardabweichungen eine Beurteilung, ob die Rangordnung statistisch signifikant ist. Durch die Verwendung der doppelten Standardabweichung werden dabei 95% aller Stichprobenwerte erfasst. Ist die Differenz der Nettoflüsse klein im Vergleich zu den Standardabweichungen, so ist diese nicht als signifikant einzuordnen. Aufgrund der großen Daten- und/oder Gewichtungsvariabilität ist dann keine klare Entscheidung möglich, welche Alternative besser ist.

In diesem Fall bestehen v.a. hinsichtlich der Bewertung von Variante 6 große Unsicherheiten, die v.a. auf die unterschiedliche Gewichtung der Kosten- gegenüber den Nutzenkriterien durch die Fachbereiche Bauen und Umwelt sowie Stadtentwicklung und Stadtplanung einerseits und das kommunale Dienstleistungsunternehmen KSJ andererseits zurückzuführen sind.

In Abbildung 10 sind die Nettoflüsse nach den einzelnen Entscheidern ausgewiesen. Je größer der Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\hat{=}$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet die betrachtete Variante aus Perspektive des jeweiligen Entscheiders ab. Es wird deutlich, welchen Einfluss die Kriteriengewichtungen auf das Bewertungsergebnis haben. Besonders auffällig ist, dass die aufwendigste Variante bei demjenigen Entscheidungsträger, der die Relevanz der Maßnahmenkosten höher bewertet, am schlechtesten abschneidet. Unter Berücksichtigung der Interessen aller beteiligten Entscheider schneidet diese umfangreiche Neugestaltung des Eingangs zum Leutra-Tunnel, Variante 6, gut ab (vgl. Abbildung 10). Abbildung 11 zeigt das Ergebnis der Multikriterien-Analyse als Rangfolge der Ausführungsvarianten.

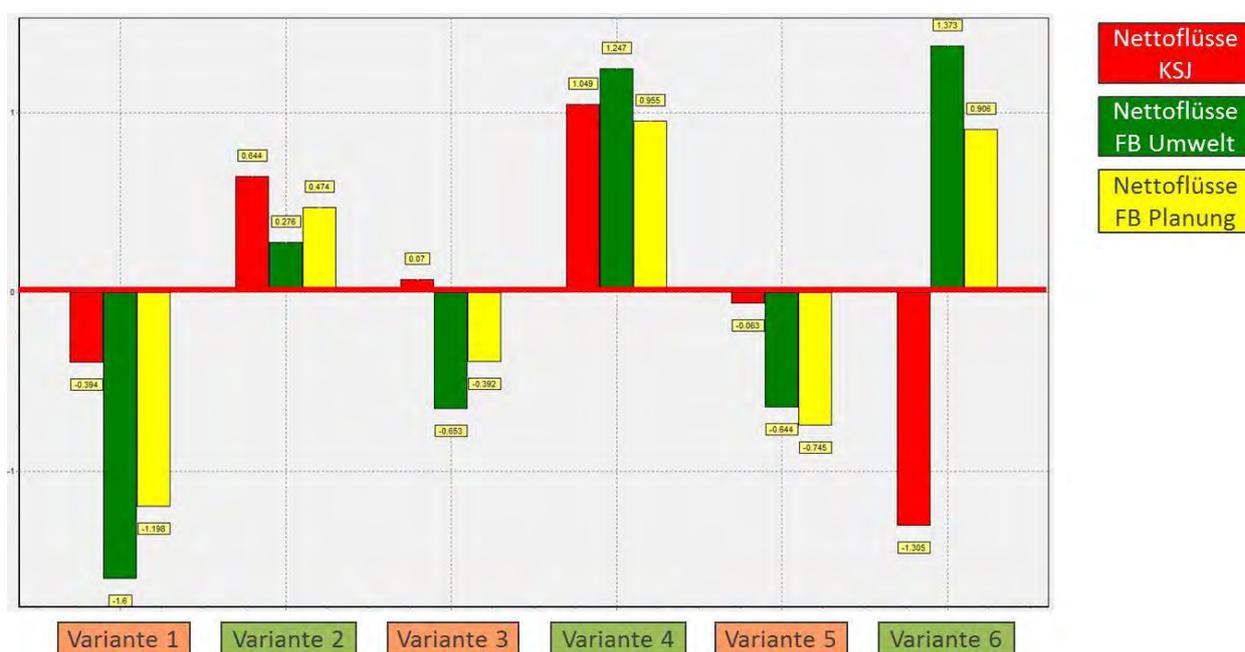


Abb. 10: Nettoflüsse der bewerteten Varianten des Rechenbauwerks nach Entscheidern

Anmerkung: Je größer der Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\hat{=}$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet die betrachtete Variante aus Perspektive des jeweiligen Entscheiders ab.

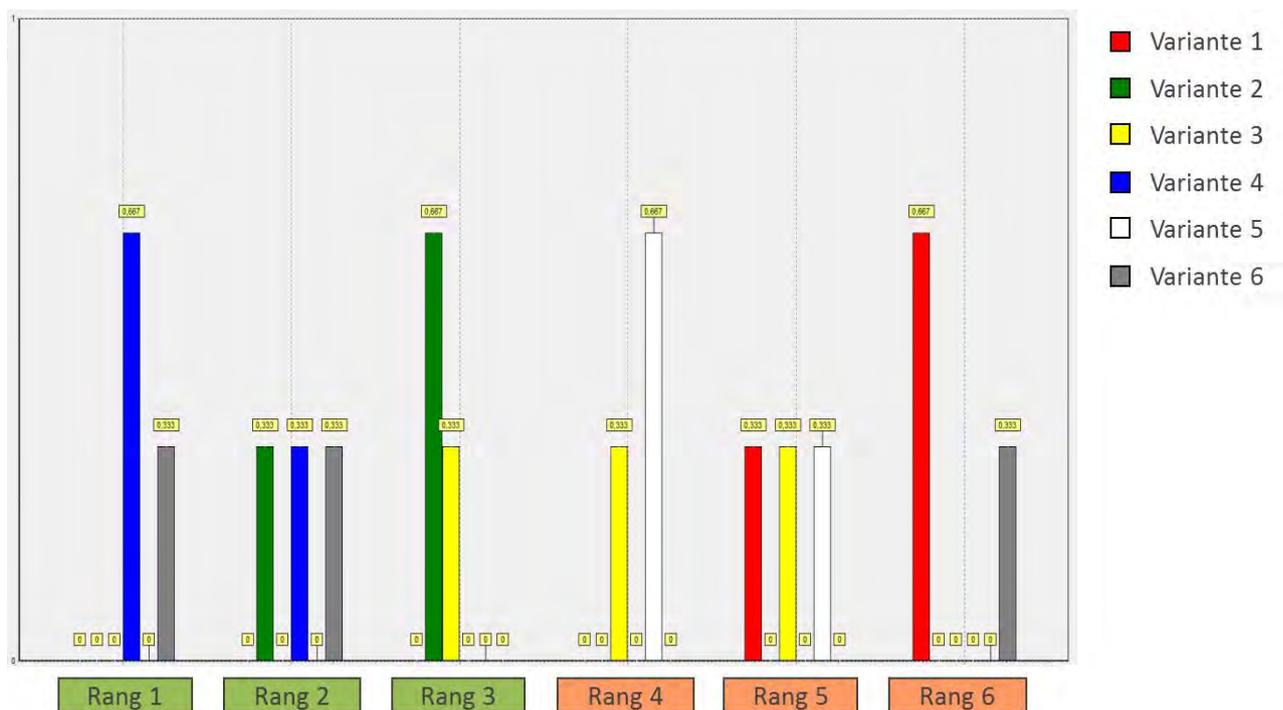


Abb. 11: Rangfolge der bewerteten Varianten des Rechenbauwerks

Anmerkung: Die Zahlen geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der der jeweilige Rang belegt wird.

Das Bewertungsergebnis ist so zu interpretieren, dass die Variante 4 unter Berücksichtigung der verwendeten Bewertungskriterien, Daten und Gewichtungssets in 2/3 aller Fälle auf dem ersten Rang liegt. In diesem Fall sind die Unsicherheiten in der Rangfolge lediglich auf die unterschiedlichen verwendeten Gewichtungssets zurückzuführen. D.h. bei zwei der drei verwendeten Gewichtungssets liegt die Variante 4 auf dem ersten Rang (vgl. Abbildung 11). Unter den getroffenen Annahmen schneidet die Variante 1 mit ebenso großer Wahrscheinlichkeit am schlechtesten ab. Die aufwendige Variante 6 wäre aus Perspektive von zwei der drei Entscheidungsträger ebenfalls geeignet, umgesetzt zu werden. Dieses Ergebnis ist aus den beschriebenen Gründen jedoch sehr unsicher. Eine belastbare Einschätzung der Variante 6 setzt daher einen Abstimmungsprozess voraus, der darauf abzielt, die Unterschiede zwischen den Kriteriengewichtungen zu verringern.

## Beispiel 2: Senkung des sommerlichen Hitzestresses auf dem Eichplatz in Jena (siehe auch Kapitel 4)

Jena ist durch eine besondere Überhitzungsgefährdung gekennzeichnet. Im besonderen Maße gilt dies für den Innenstadtbereich (vgl. Abbildung 12). Auf Grundlage von Messdaten wurde berechnet, dass die Jahresdurchschnittstemperatur in den letzten 100 Jahren um 1,2K angestiegen ist. Mit Hilfe der Regionalisierungsmodelle STAR und WETTREG wird derzeit ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um ca. 2K bis 2050 projiziert. Darüber hinaus lassen die Projektionen für diesen Zeitraum eine Verdopplung der heißen Tage ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) auf bis zu 20 Tage p.a. erwarten. Neben diversen natürlichen Einflussfaktoren ist die Art der Flächennutzung eine wichtige Determinante der thermischen Belastung. Als Ursache für den urbanen Hitzeinseleffekt spielt die Reduzierung verdunstungsaktiver Flächen infolge zunehmender Oberflächenversiegelung und die Art dieser Versiegelung eine wesentliche Rolle.

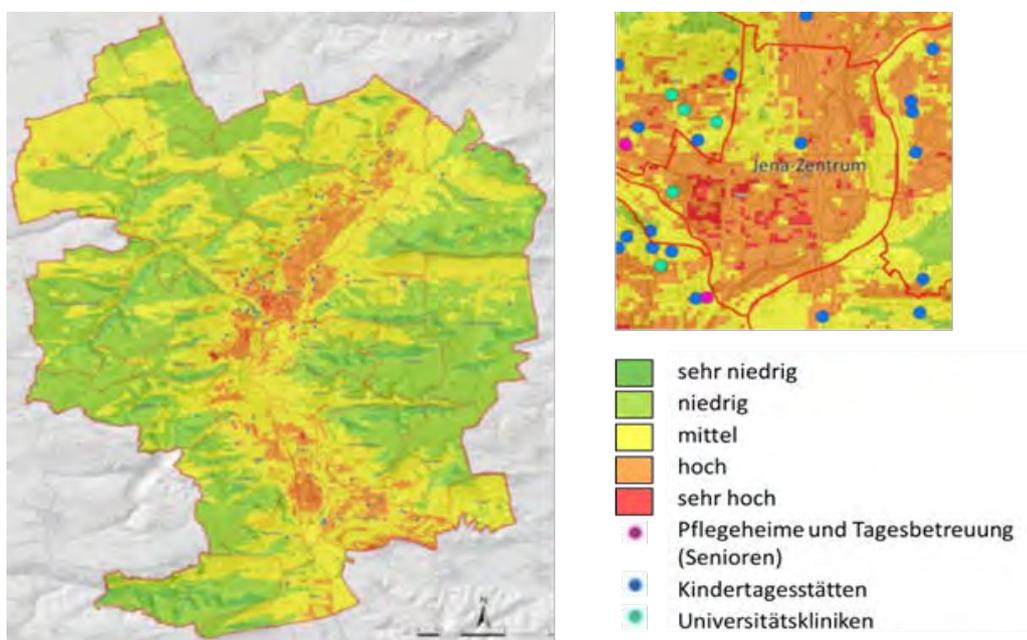


Abb. 12: Überhitzungsgefährdung im Stadtgebiet Jena auf Basis von Versiegelungsgrad, Baustruktur, Globalstrahlung, lokalen und regionalen Windsystem

Der größte öffentliche Platz im Jenaer Stadtzentrum ist mit einer Fläche von ca. 1,5 ha der Eichplatz. Bis auf einige Grünstrukturen im nordöstlichen Bereich ist er nahezu vollständig asphaltiert. Dies wirkt sich aktuell bereits negativ auf das innerstädtische Mikroklima aus. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist mit einer weiteren Verschlechterung der Situation zu rechnen.

Im Zuge der Neubebauung des Eichplatzes sollen bei der Auswahl des umzusetzenden Gestaltungskonzepts Aspekte der Nachhaltigkeit, des Klimaschutzes und der Klimaanpassung berücksichtigt werden. In Vorbereitung der Beurteilung der im Rahmen des europaweiten Realisierungswettbewerbs einzureichenden Entwürfe sol-

len einige platzgestalterische Handlungsoptionen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ihrer Umsetzung in Bezug auf die angestrebte Verbesserung der mikroklimatischen Situation bewertet werden. Das Ergebnis dieser Analyse kann zum einen als Information an die Wettbewerbsteilnehmer vermittelt werden und so schon bei der Erstellung bzw. Überarbeitung der Entwürfe Beachtung finden. Zum anderen ist denkbar, diese Resultate bei der Abwägung der Gestaltungskonzepte zu berücksichtigen. Für die Bewertung wird ein multikriterielles Verfahren angewendet.

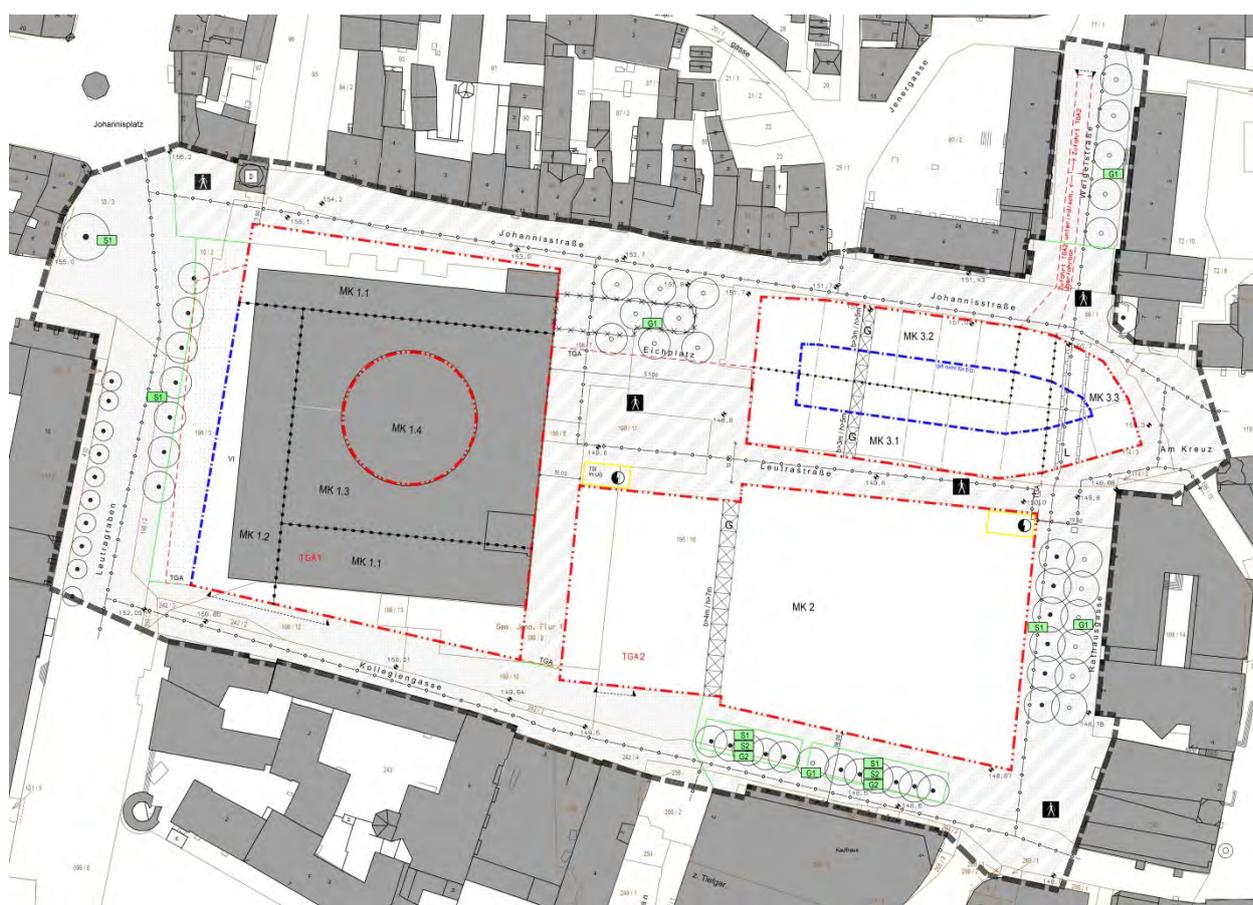


Abb. 13: 3. Entwurf zum Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan

Auf der ersten Stufe wird das vom Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (ThINK) u.a. auf Basis des Stadtklimalotsen entwickelte "Jenaer Entscheidungsunterstützungssystem für lokale Klimaanpassung – JELKA" verwendet. Die Handlungsoptionen können in JELKA nach Handlungsfeldern, Klimawirkfolgen oder der Betroffenheit einzelner Ortsteile gefiltert werden. Die Priorisierung erfolgt unter Berücksichtigung der jeweiligen Betroffenheit auf Basis eines Wirksamkeits-Scores. Die für die Klimawirkfolge "Hitze" und die spezifische Betroffenheit des Ortsteils "Jena Stadtmitte" selektierten, noch relativ unspezifischen Anpassungsmaßnahmen werden im Gespräch mit den lokalen Entscheidungsträgern konkretisiert. Tabelle 9 zeigt die im Abstimmungsprozess ermittelten Handlungsoptionen.

<b>Maßnahmen gegen Überhitzung</b>	
1. Wasserfläche <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brunnen</li> </ul>	3. Verschattung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bäume</li> <li>• Dachüberstand</li> <li>• Markisen</li> </ul>
2. Begrünung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dachbegrünung</li> <li>• Fassadenbegrünung</li> <li>• Pflanzkübel</li> </ul>	4. Erhöhung des Oberflächenrückstrahlvermögens <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenversiegelung mit hellen Materialien („Pflasterung“)</li> </ul>

Tab. 9: Bewertete Handlungsoptionen Fallbeispiel Eichplatz

Die für die Bewertung zu verwendenden Kriterien (vgl. Tabelle 10), deren Ausprägungen sowie notwendigen Daten werden mit Hilfe der Verantwortlichen für Planung, Umsetzung und Unterhaltung der betrachteten Maßnahmen festgelegt bzw. ermittelt. Unsicherheiten werden über die Nutzung von Bandbreiten für einzelne Werte berücksichtigt. Auf Grundlage des Austauschs mit den Entscheidungsträgern werden hypothetische aber plausible Gewichtungen für die Entscheider-Gruppen "Bürger", "Politiker" und "Stadtplanung" gesetzt. Tabelle 10 gibt eine Übersicht der verwendeten Bewertungskriterien.

<b>Kosten</b>	<b>Nutzen</b>
1. Kostenbarwert (100 Jahre, 3% p.a. Diskontrate) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Reinvestitionskosten</li> <li>• Unterhaltungskosten</li> </ul>	1. Wirksamkeit hinsichtlich der Senkung der thermischen Belastung
	2. Zeit bis zum Eintreten des Effekts
	3. Lebensdauer
	4. Abhängigkeit des Nutzens der Maßnahme vom Art und Ausmaß des Klimawandels
2. technischer Aufwand	5. Synergien mit anderen Anpassungsmaßnahmen
3. zeitliche Umsetzbarkeit	6. Konflikte mit anderen Anpassungsmaßnahmen
4. Transaktionskosten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Politik</li> <li>• Bürger</li> <li>• Stadtplanung</li> </ul>	7. Zusatznutzen in anderen Bereichen

Tab. 10: Bewertungskriterien für Anpassungsmaßnahmen gegen Überhitzung

Das wichtigste kostenseitige Bewertungskriterium stellt der Kostenbarwert dar. Dieser wird durch die Aggregation der Investitions-, Reinvestitions- und Unterhaltungskosten für jede einzelne Alternative und deren Diskontierung mit 3% p.a. über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet. Zusätzlich zu den Kosten im engeren Sinne wurden als Transaktionskosten zu interpretierende qualitative Einschätzungen des technischen und zeitlichen Aufwands der Umsetzung sowie mögliche Widerstände verschiedener Interessengruppen berücksichtigt.

In Ermangelung einer modellierungsbasierten Einschätzung der Auswirkungen der betrachteten Maßnahmen erfolgt nutzenseitig in Abstimmung mit Experten eine qualitativ-vergleichende Abschätzung der Wirksamkeit der einzelnen Handlungsop-

tionen. Als weitere Nutzen-Kriterien gehen die Zeit bis zum Eintreten des beabsichtigten Effekts; die Lebensdauer der Maßnahmen; die Abhängigkeit des Nutzens der Maßnahmen vom Auftreten der erwarteten klimatischen Veränderungen; mögliche Synergien oder Konflikte mit anderen Maßnahmen gegen Überhitzung sowie das Ausmaß des zusätzlichen Nutzens in anderen Bereichen in die Bewertung ein.

Die Multikriterien-Analyse kann ohne eine Bewertungssoftware durchgeführt werden, deren Einsatz vereinfacht die Auswertung jedoch. Die Software PRIMATE nutzt für die Durchführung der Multikriterien-Analyse das PROMETHEE-Verfahren, das einen paarweisen Vergleich aller Handlungsalternativen über die Bewertungskriterien durchführt. Dabei werden die Stimmen, die für ("Ausgangsflüsse") und diejenigen die gegen ("Eingangsflüsse") eine Alternative sprechen ermittelt und gewichtet zu Nettoflüssen zusammengefasst.<sup>17</sup>

Abbildung 14 zeigt diese Nettoflüsse als Ergebnis der Gesamtbewertung, d.h. der Abwägung unter Berücksichtigung aller Entscheider.<sup>18</sup> Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\triangleq$  Contra-Stimmen) ist, desto eher (weniger) ist die Maßnahme geeignet, das Erreichen der Zielsetzung zu befördern. Die durch die gelben Balken dargestellten Standardabweichungen spiegeln hierbei die Unsicherheiten wider, die sich aus der Verwendung von Kostenspannen und unterschiedlichen Kriteriengewichtungen ergeben.

---

<sup>17</sup> Für nähere Informationen zum Verfahren vgl. Drechsler, M. (2004): PRIMATE - An interactive software for Probabilistic Multi-Attribute Evaluation, Software-Handbuch, Leipzig sowie Gebhardt, O.; Brenck, M.; Meyer, V.; Melch, S.; Hansjürgens, B. (2012): Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung, Leipzig.

<sup>18</sup> Bei der beispielhaften Bewertung werden jedoch nur hypothetische Gewichtungssets verwendet.

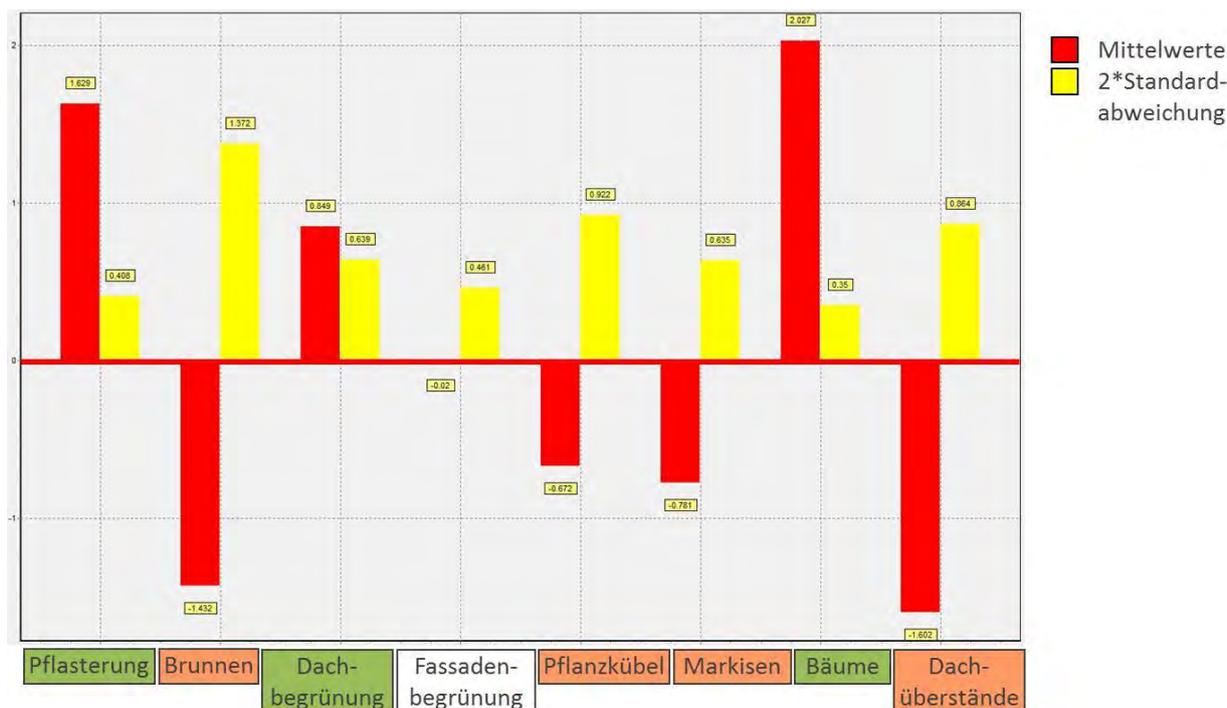


Abb. 14: Nettoflüsse der bewerteten Maßnahmen

Anmerkung: Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\hat{=}$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet die betrachtete Maßnahme ab.

Der Vergleich der Gesamt-Nettoflüsse erlaubt unter Berücksichtigung der Standardabweichungen eine Beurteilung, ob die Rangordnung statistisch signifikant ist. Durch die Verwendung der doppelten Standardabweichung werden dabei 95% aller Stichprobenwerte erfasst. Ist die Differenz der Nettoflüsse klein im Vergleich zu den Standardabweichungen, so ist diese nicht als signifikant einzuordnen. Aufgrund der großen Daten- und/oder Gewichtungsvariabilität ist dann keine klare Entscheidung möglich, welche Alternative besser ist.

In diesem Fall ist die Differenz der Nettoflüsse zwischen der Mehrzahl der betrachteten Maßnahmen trotz der daten- und gewichtungsbezogenen Unsicherheiten groß genug, um auf Grundlage der genutzten Bewertungskriterien die besondere Eignung der drei bestplatzierten Handlungsoptionen festzustellen. Die größten Unsicherheiten bestehen v.a. aufgrund der unterschiedlichen Kriteriengewichtungen bei der Beurteilung der Nutzung einer Wasserfläche bei der Platzgestaltung. Dies wird in Abbildung 15 deutlich, die die Nettoflüsse nach den einzelnen Entscheider-Gruppen darstellt.

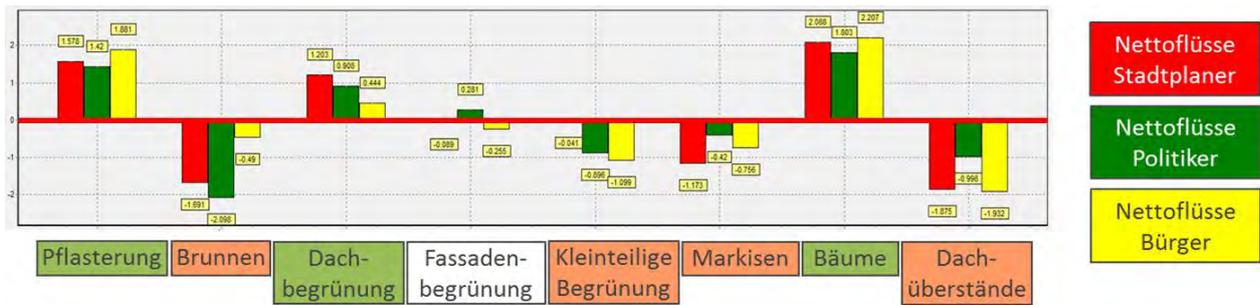


Abb. 15: Gesamtbewertung: Nettoflüsse nach Maßnahmen und Entscheidern  
 Anmerkung: Je größer der Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\neq$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet die betrachtete Maßnahme aus Perspektive des jeweiligen Entscheiders ab.

Es zeigt sich, welchen Einfluss die verwendeten Gewichtungssets auf die Bewertung der Handlungsoptionen haben. Die Alternative "Anlage einer Wasserfläche", die in der Gesamtbetrachtung, d.h. unter Berücksichtigung der Präferenzen alle Entscheider, vergleichsweise schlecht abschneidet, nimmt unter den für die Bürger getroffenen Annahmen einen mittleren Platz ein. Das ist darauf zurückzuführen, dass unterstellt wird, dass die Bürger im Vergleich zu den Stadtplanern und den Politikern den nutzenseitigen Aspekten der Maßnahmen eine wesentlich höhere Bedeutung beimessen als den Kosten der Umsetzung.

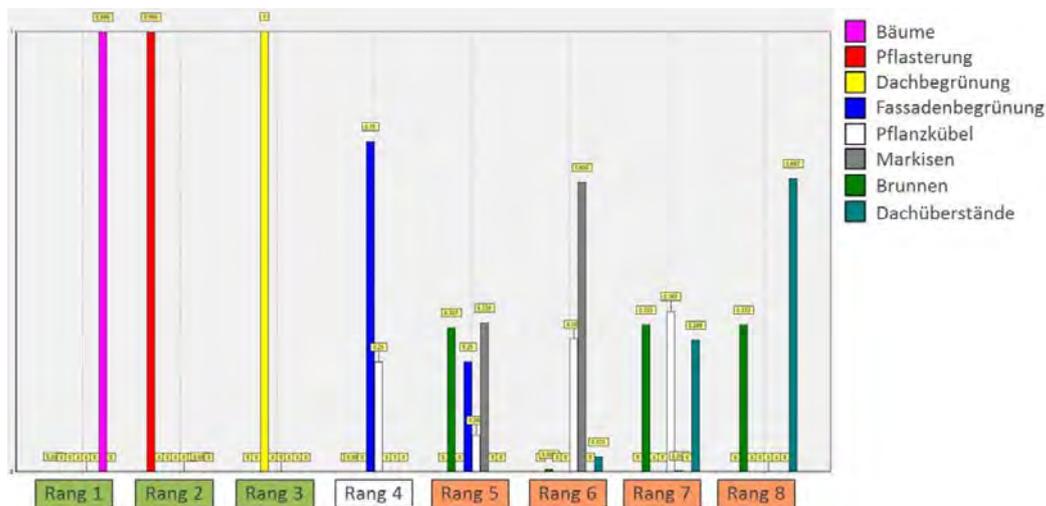


Abb. 16: Rangfolgen der bewerteten Maßnahmen.  
 Anmerkung: Die Zahlen geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der der jeweilige Rang belegt wird.

Abbildung 16 zeigt das Ergebnis der Multikriterien-Analyse als Rangfolge der Maßnahmen. Selbst unter Berücksichtigung der zum Teil unsicheren Eingangsdaten und bei allen der hier angenommenen unterschiedlichen Gewichtungen stellt die Senkung der thermischen Belastung durch die Anpflanzung von Bäumen die beste Handlungsalternative dar. Es folgen die Nutzung von Materialien mit hohem Albedo-Wert für die zu versiegelnden Flächen sowie die Dach- und Fassadenbegrünung. Die Platzbegrünung durch Pflanzkübel, Verschattung durch Markisen und Dachüberstände sowie die Anlage einer Wasserfläche sind demnach weniger geeignete Handlungsoptionen.

### Beispiel 3: Betrieblicher Hochwasserschutz Berzelius Stolberg GmbH

Die Berzelius Stolberg GmbH (BBH Stolberg) wurde 1848 als Primärhütte gegründet und ist heute mit 190 Mitarbeitern und einem jährlichen Produktionsvolumen von ca. 150.000 Tonnen Blei und Bleilegerungen sowie 100.000 Tonnen Schwefelsäure international führend in der Technologie der Primärbleierzeugung und Schwefelsäureherstellung.

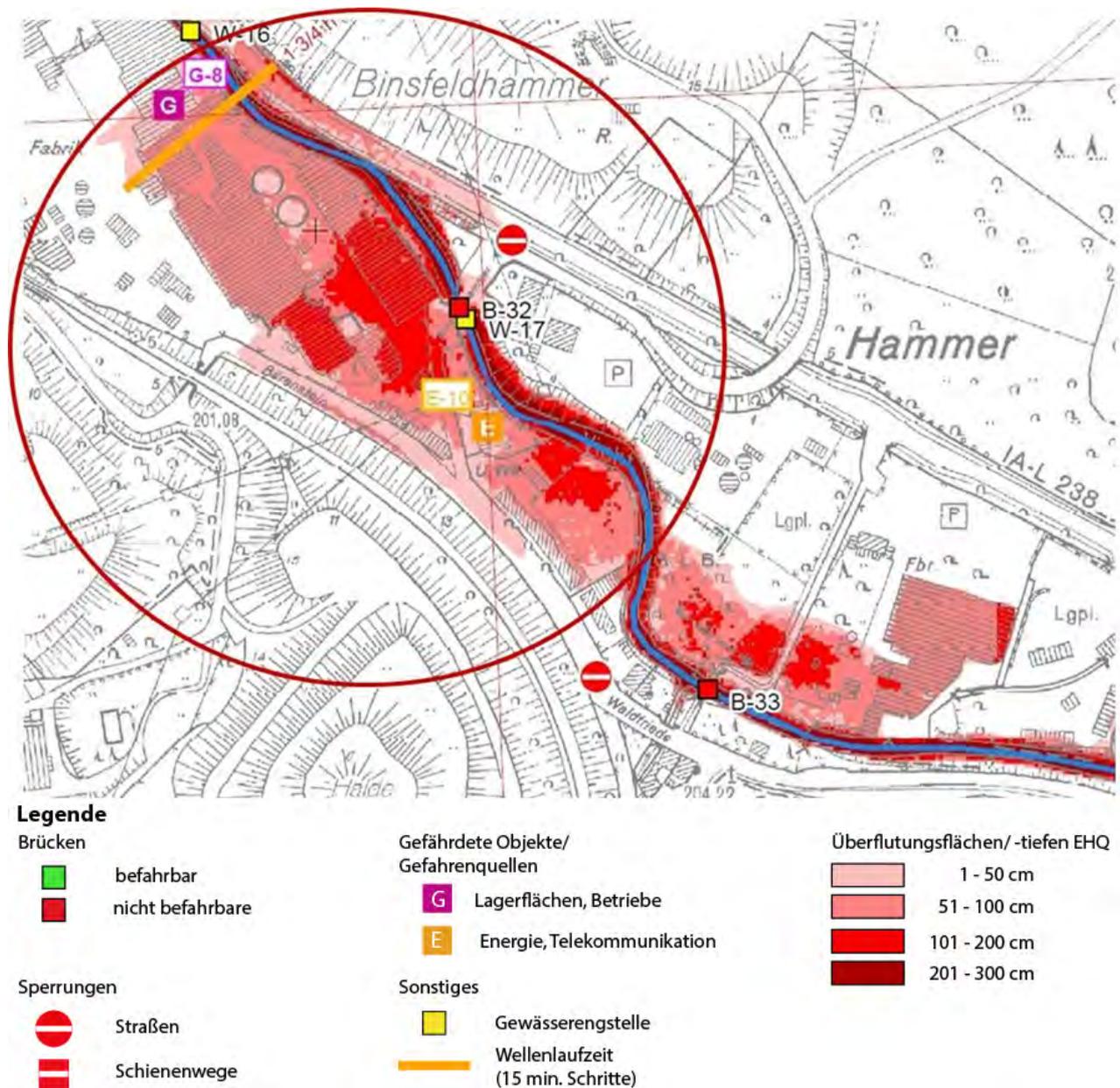


Abb. 17: Hochwassergefährdung der Berzelius Stolberg GmbH, Extremhochwasser (EHQ)

Das Betriebsgelände der BBH Stolberg liegt im Industriegebiet Stolberg, in Tallage direkt an der Vicht. Wie die Hochwassergefährdungskarte zeigt, befinden sich große Teile des Betriebsgeländes im Überschwemmungsgebiet der Vicht (vgl. Abbildung 17) Insbesondere in Folge von Starkregenereignissen und Schneeschmelze kam es

in der Vergangenheit zu Hochwasserereignissen. Die derzeit einzige Zufahrt zum Betriebsgelände überquert die Vicht und ist bei Hochwasser häufig nicht befahrbar (vgl. Abbildung 18). Die Betriebsabläufe der BBH Stolberg machen eine regelmäßige Zulieferung von Hilfsstoffen ebenso notwendig wie einen stetigen Abtransport der hergestellten Produkte sowie von Abfallstoffen der Produktion. Eine über einen längeren Zeitraum eingeschränkte Zufahrt zum Betriebsgelände hat daher direkten Einfluss auf Produktionsabläufe und -volumen.

Um die Anlagen auf dem Gelände zu sichern und einen störungsfreien Betriebsablauf zu gewährleisten, sind verschiedene Maßnahmen des betrieblichen Hochwasserschutzes in Planung: Zunächst ist der Neubau der Brücke über die Vicht vorgesehen. Diese wird in einer umfassenden baulichen Maßnahme um 80 cm höhergelegt, um ein Hochwasserschutzniveau von HQ100 zu erreichen. Hinter der Brücke wird das Gelände bisher im Hochwasserfall auf zwei Streckenabschnitten mit Sandsäcken abgedichtet: Zunächst quer über die Einfahrt des Betriebsgeländes (Abschnitt 1, ca. 50 m) sowie auf einem südlich anschließenden Abschnitt entlang der Straße "Am Binsfeldhammer", an der das Betriebsgelände durch eine Hecke begrenzt wird (Abschnitt 2, ca. 50 m) (vgl. Abbildung 18).



Abb. 18: Fotos: (1) Zufahrt Betriebsgelände, (2) Brücke über die Vicht, (3) Am Binsfeldhammer

Für die Abschnitte 1 und 2 sind verschiedene Hochwasserschutzanlagen denkbar: Für Abschnitt 1, der nur im Hochwasserfall zu schließen ist, werden neben der Sandsacklösung ein mobiles Schlauchsystem sowie ein Dammbalkensystem mit permanentem Fundament in Betracht gezogen. Abschnitt 2 könnte mit Sandsäcken, einem mobilen Schlauchsystem oder mit einer permanenten Lösung in Form einer Hochwasserschutzmauer gesichert werden. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die im Rahmen der Bewertung zu vergleichenden Maßnahmenbündel.

Maßnahmenbündel	Einzelmaßnahmen
<b>Maßnahmenbündel 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sanierung der Brücke</li> <li>• Abschnitt 1: Sandsäcke</li> <li>• Abschnitt 2: Sandsäcke</li> </ul>

Maßnahmenbündel	Einzelmaßnahmen
<b>Maßnahmenbündel 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherlegung der Brücke (HQ100)</li> <li>• Abschnitt 1: Sandsäcke</li> <li>• Abschnitt 2: Sandsäcke</li> </ul>
<b>Maßnahmenbündel 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherlegung der Brücke (HQ100)</li> <li>• Abschnitt 1: mobiles Schlauchsystem</li> <li>• Abschnitt 2: mobiles Schlauchsystem</li> </ul>
<b>Maßnahmenbündel 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherlegung der Brücke (HQ100)</li> <li>• Abschnitt 1: Dammbalkensystem mit permanentem Fundament</li> <li>• Abschnitt 2: Hochwasserschutzmauer</li> </ul>

Tab. 11: Maßnahmenbündel zum betrieblichen Hochwasserschutz

Die zur Bewertung der vier Maßnahmenbündel herangezogenen Kriterien sind in Tabelle 12 dargestellt. Neben den Kosten der Umsetzung, erforderlichen Reinvestitionen sowie den anfallenden Unterhaltungskosten innerhalb des betrachteten Zeitraums von 100 Jahren fließt kostenseitig eine Abschätzung des einmaligen Aufwands für die Umsetzung des Maßnahmenbündels ein.

Die Bewertung des Nutzens erfolgt mittels einer Einschätzung der Wirksamkeit der Maßnahmenbündel. Zudem wird in die Bewertung nutzenseitig mit einbezogen, wie groß der Aufwand des Einsatzes im Katastrophenfall ist und ob die Maßnahmenbündel unabhängig von ihrer Hochwasserschutzwirkung weitere Nutzen stiften. So hat beispielsweise die Hochwasserschutzmauer, die noch etwa 50 m über den überschwemmungsgefährdeten Abschnitt 2 hinausgehen würde, einen lärmschützenden Effekt.

<b>1.</b>	<b>Kosten</b>
1.1	Kostenbarwert <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitions-, Reinvestitionskosten</li> <li>• Unterhaltungskosten</li> </ul>
1.2	Aufwand der Umsetzung (einmalig)
<b>2.</b>	<b>Nutzen</b>
2.1	Wirksamkeitspotential: Schadenssenkung
2.2	Aufwand des Einsatzes (im Katastrophenfall)
2.3	Zusatznutzen in anderen Bereichen (Lärmschutz, Flächennutzung etc.)

Tab. 12: Bewertungskriterien für Maßnahmenbündel zum betrieblichen Hochwasserschutz

In die Bewertung fließt eine durch die betrieblichen Entscheidungsträger vorgenommene Gewichtung der gewählten Kriterien ein, um zu berücksichtigen, welche Aspekte für das Unternehmen besonders relevant sind.

Die Multikriterien-Analyse kann ohne eine Bewertungssoftware durchgeführt werden, deren Einsatz vereinfacht die Auswertung jedoch. Die Software PRIMATE nutzt für die Durchführung der Multikriterien-Analyse das PROMETHEE-Verfahren, das einen paarweisen Vergleich aller Handlungsalternativen über die Bewertungskriterien durchführt. Dabei werden die Stimmen, die für ("Ausgangsflüsse") und diejenigen die gegen ("Eingangsflüsse") eine Alternative sprechen ermittelt und gewichtet zu Nettoflüssen zusammengefasst.<sup>19</sup>

Abbildung 20 zeigt diese Nettoflüsse als Ergebnis der Multikriterien-Analyse. Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\triangleq$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet das jeweilige Maßnahmenbündel im paarweisen Vergleich mit allen anderen Bündeln ab. Die durch die gelben Balken dargestellten (doppelten) Standardabweichungen spiegeln hierbei die Unsicherheiten wider, die sich aus der Verwendung von Kostenspannen ergeben. Der Vergleich der Gesamt-Nettoflüsse erlaubt unter Berücksichtigung der Standardabweichungen eine Beurteilung, ob die Rangordnung statistisch signifikant ist. Durch die Verwendung der doppelten Standardabweichung werden dabei 95% aller Stichprobenwerte erfasst. Ist die Differenz der Nettoflüsse klein im Vergleich zu den Standardabweichungen, so ist diese nicht als signifikant einzuordnen.

Die Auswertung der Nettoflüsse ergibt, dass Bündel 4 – Höherlegung der Brücke, Dammbalkensystem mit Fundament im Abschnitt 1 und Hochwasserschutzmauer im Abschnitt 2 – deutlich besser abschneidet als die übrigen Alternativen. Der gelbe Balken zeigt jedoch ebenso an, dass hier aufgrund der Spannen in den zu Grunde liegenden Werten auch die Unsicherheiten erheblich sind. Auf Bündel 4 folgt Bündel 3, das neben der Höherlegung der Brücke den Einsatz eines mobilen Schlauchsystems auf Abschnitt 1 und 2 vorsieht. Deutlich kleiner sind die Nettoflüsse bei den beiden Lösungen mit Sandsackeinsatz.

---

<sup>19</sup> Für nähere Informationen zum Verfahren vgl. Drechsler, M. (2004): PRIMATE - An interactive software for Probabilistic Multi-Attribute Evaluation, Software-Handbuch, Leipzig.

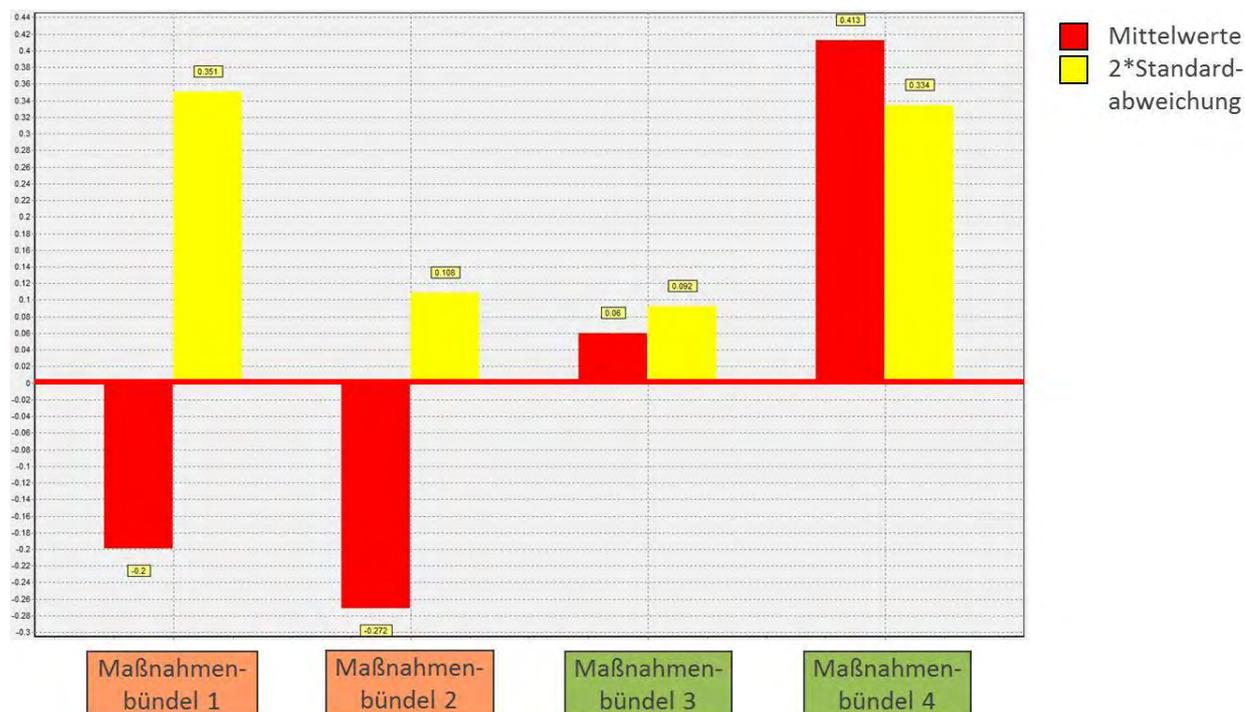


Abb. 19: Nettoflüsse der bewerteten Maßnahmenbündel

Anmerkung: Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\triangleq$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet das betrachtete Maßnahmenbündel ab.

Abbildung 20 stellt das Bewertungsergebnis als Rangfolge der Bündel dar. Die Balken bilden die Wahrscheinlichkeit ab, mit der die Maßnahmenbündel den ersten bis vierten Rang belegen.

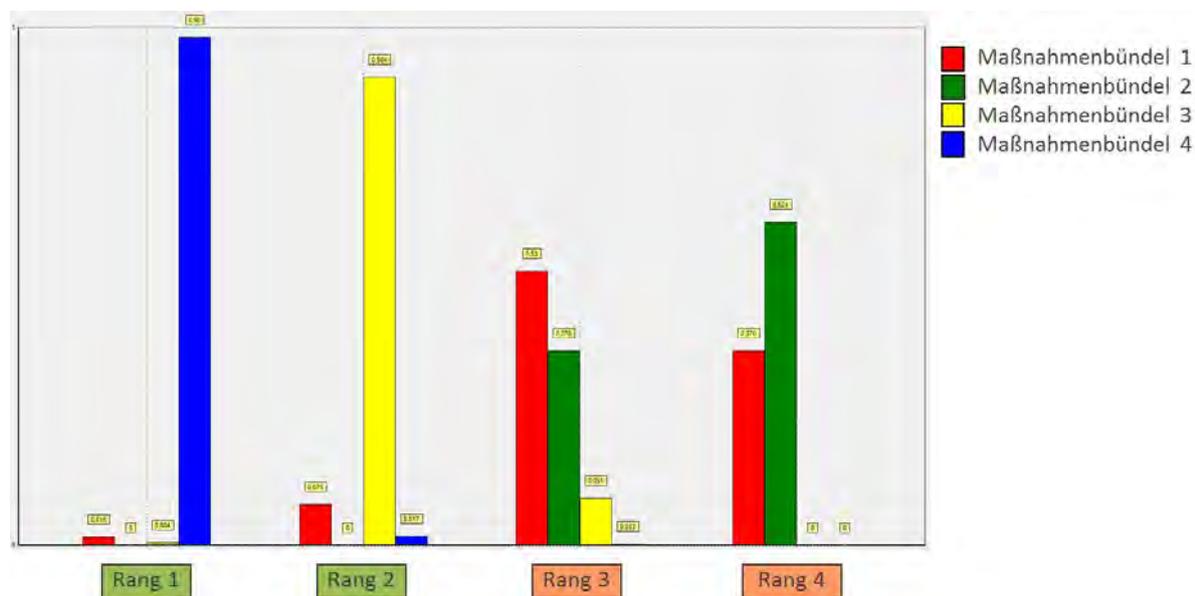


Abb. 20: Rangfolge der bewerteten Maßnahmenbündel

Anmerkung: Die Balken geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der der jeweilige Rang belegt wird.

Es ist somit sehr wahrscheinlich, dass Bündel 4, d.h. die Erhöhung der Brücke in Kombination mit einem Dammbalkensystem und einer Hochwasserschutzmauer, unter den getroffenen Annahmen bezüglich der Bewertungskriterien, deren Gewicht-

tung sowie der verwendeten Daten die beste Option darstellt. Die Erhöhung der Brücke in Kombination mit einer Schlauchlösung (Bündel 3) käme demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den zweiten Rang. [Absatz]

Hier zeigt sich der Vorteil des transparenten Bewertungsprozesses: Die Bewertungskriterien, die Gewichtung und die verwendeten Daten sind den am Entscheidungsprozess Beteiligten bekannt und können so die Entscheidungsfindung erleichtern. Bündel 4, das in der Gesamtbewertung am besten abschneidet, bringt zunächst gegenüber Bündel 3 höhere Investitionskosten und einen höheren technischen wie zeitlichen Aufwand mit sich, umfasst aber weniger laufende Kosten und bringt einen Zusatznutzen im Bereich des Lärmschutzes für die Anlieger.

Bündel 1, die Sanierung der Brücke ohne Ausbau auf das Schutzniveau HQ100 und der Einsatz von Sandsäcken, liegt auf Rang 3. Die am wenigsten geeignete Option ist Bündel 2, das vorsieht, die Brücke höherzulegen und das Gelände weiterhin mit Sandsäcken zu schützen.

## Beispiel 4: Niederschlagswassermanagement im Wohngebiet Aachen Richtericher Dell

Im Norden des Aachener Stadtgebiets ist der Neubau des Wohngebiets Aachen Richtericher Dell geplant. Im Jahr 2005 wurde hierfür ein städtebauliches und freiraumplanerisches Konzept (Spengler-Wiescholek, Hamburg) verabschiedet. Die bisherige städtebauliche Planung wird derzeit unter dem Leitmotiv "Klimaschutz" weiterentwickelt. Dabei finden Aspekte des Klimaschutzes, der Klimafolgenanpassung sowie weitere Umweltaspekte Berücksichtigung.

In der Planung ist vorgesehen, Niederschlagswasser nicht in das Kanalnetz einzuleiten, sondern dezentral innerhalb des Wohngebietes versickern zu lassen. Überschüssiges Wasser soll von den versiegelten Flächen auf die angrenzenden Grünflächen geleitet und dort zentral versickert werden. Die als "grüne Fugen" bezeichneten öffentlichen Freiflächen sollen parkähnlich gestaltet werden und im Sinne der Naherholung für die Bewohner zugänglich sein. Ein offenes Rinnensystem wird Niederschlagswasser, das nicht dezentral versickert werden kann, aus den Clustern auf die Retentionsflächen innerhalb der "grünen Fugen" ableiten (Stadt Aachen 2011).

Ziel ist es, die Retentionsflächen innerhalb der "grünen Fugen" so klein wie nötig zu halten und die Dimensionierung der Infrastruktur zur Ableitung des Wassers zu optimieren. Die Nutzung von Gründächern und eine Beschränkung der Versiegelung von Garten- und Innenhofflächen werden in Betracht gezogen, um die dezentrale Versickerung zu befördern und damit auch Starkniederschlägen besser begegnen zu können. Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen soll im Rahmen einer ökonomischen Bewertung näher untersucht werden. Diese Analyse erfolgt beispielhaft für den ersten geplanten Entwicklungsabschnitt des Gebietes (vgl. Abbildung 21).



Abb. 21: Städtebaulicher Entwurf Aachen Richtericher Dell (Stand 20.03.2012)

Für den ca. 6,5ha großen Bauabschnitt mit ein- bis dreistöckigen Wohnhäusern (Dachfläche ca. 23.450m<sup>2</sup>, entspricht 35% der Gesamtfläche des Bauabschnitts), Innenhof (ca. 6.700m<sup>2</sup>, 10%), privaten Gartenflächen (ca. 20.100m<sup>2</sup>, 30%) und öffentlicher Straßenfläche (ca. 16.750m<sup>2</sup>, 25%) werden drei alternative Maßnahmenbündel betrachtet (vgl. Tabelle 13).

Maßnahmen	Maßnahmenbündel 1	Maßnahmenbündel 2	Maßnahmenbündel 3
Dachbegrünung	0%	30%	70%
Innenhof-Fläche abflussbildend	25%	0%	0%
Private Gartenfläche abflussbildend	50%	50%	0%

Tab. 13: Maßnahmenbündel Niederschlagswassermanagement in Aachen Richtericher Dell

Für die drei alternativen Maßnahmenbündel wird in einem ersten Schritt eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, indem für jedes Maßnahmenbündel aus dem Kostenbarwert und dem Nutzenbarwert der Nettonutzen berechnet wird. Die Barwerte werden für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und unter Nutzung einer Diskontrate von 3% p.a. ermittelt. Das heißt, die Kosten, die durch die Umsetzung der Maßnahme und die erforderlichen Reinvestitionen sowie durch die Unterhaltung der Maßnahmen entstehen (Kostenbarwert), werden den erzielten Einsparungen von Niederschlagswassergebühr und Energiekosten gegenübergestellt (Nutzenbarwert).

In einem zweitem Analyseschritt fließen in eine Multikriterien-Analyse neben dem Nutzenbarwert weitere Nutzenaspekte ein: Die Auswirkungen auf eine Verbesserung des Kleinklimas, der gestalterische Mehrwert der Maßnahmenbündel sowie weitere Zusatznutzen, wie z. B. (günstige) Auswirkungen auf Biodiversität und Brandschutz, werden durch qualitative Einschätzungen berücksichtigt (vgl. Tabelle 14).

<b>1.</b>	<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>		
<b>2.</b>	<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		

Tab. 14: Bewertungskriterien für Maßnahmenbündel zum Niederschlagswassermanagement

Die multikriterielle Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung einer Kriteriengewichtung, die durch Vertreter des Fachbereichs Stadtentwicklung und Verkehrsanlagen und Stabstelle Klimaschutz der Stadt Aachen vorgenommen wird.

Die Kosten-Nutzen-Analyse aber auch die Multikriterien-Analyse können ohne den Einsatz einer Bewertungssoftware durchgeführt werden, deren Einsatz vereinfacht die Auswertung jedoch. Die Software PRIMATE nutzt für die Durchführung der Multikriterien-Analyse das PROMETHEE-Verfahren, das einen paarweisen Vergleich aller Handlungsalternativen über die Bewertungskriterien durchführt. Dabei werden die Stimmen, die für ("Ausgangsflüsse") und diejenigen die gegen ("Eingangsflüsse") eine Alternative sprechen, ermittelt und gewichtet zu Nettoflüssen zusammengefasst.<sup>20</sup>

Abbildung 22 stellt das Resultat der Kosten-Nutzen-Analyse dar. Bei diesem lediglich auf monetären Daten basierenden Vergleich der Maßnahmenbündel wird deutlich, dass der Nettonutzen des Maßnahmenbündels 3 den der beiden anderen Maßnahmenbündel bei weitem übersteigt. Das Maßnahmenbündel 1 fungiert bei diesem Vergleich als Referenzoption, d.h. Kosten und Nutzen der anderen Maßnahmen werden im Vergleich zu dieser Option betrachtet.

<sup>20</sup> Für nähere Informationen zum Verfahren vgl. Drechsler, M. (2004): PRIMATE - An interactive software for Probabilistic Multi-Attribute Evaluation, Software-Handbuch, Leipzig sowie Gebhardt, O.; Brenck, M.; Meyer, V.; Melch, S.; Hansjürgens, B. (2012): Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung, Leipzig.

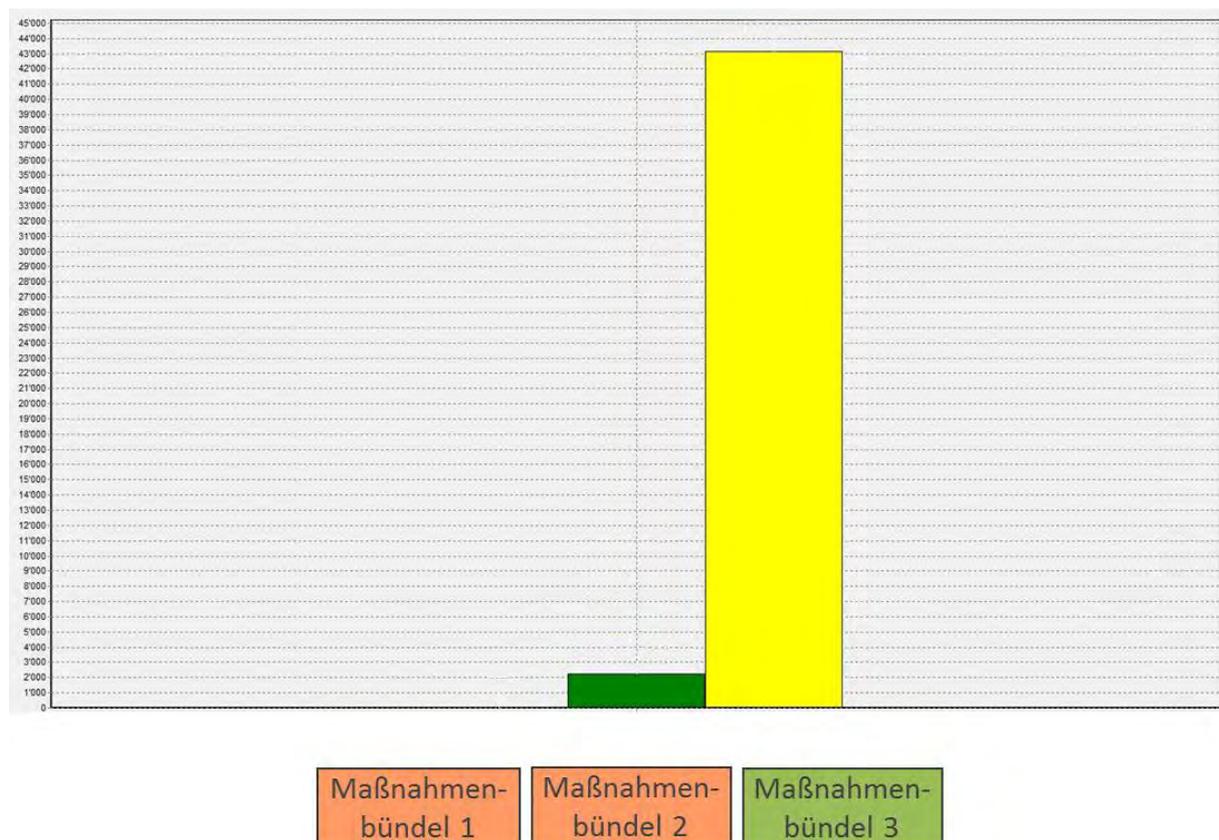


Abb. 22: Nettonutzen der Maßnahmenbündel

Anmerkung: Die Höhe der Balken gibt den Nettonutzen des jeweiligen Maßnahmenbündels in Euro an. Das Maßnahmenbündel 1 dient dabei als Referenzoption.

Eine Betrachtung der aggregierten Kostenbarwerte zeigt, dass Variante 3 bei Verwendung der jeweiligen Werte am unteren Ende der recherchierten Preisspannen bereits ab dem ersten Jahr wirtschaftlicher ist als Variante 1. Dies gilt umso mehr, wenn zusätzlich die zu realisierenden Einsparungen (Nutzenbarwerte) berücksichtigt werden. Legt man jeweils die absehbaren Maximalkosten zugrunde, dann rechnet sich die Variante 3 gegenüber der Variante 1 ab dem 21. Jahr.

Abbildung 23 zeigt das Ergebnis der Multikriterien-Analyse. Der Vergleich erfolgt hier auf Basis der sogenannten Nettoflüsse. Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\triangleq$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet das jeweilige Maßnahmenbündel im Vergleich mit allen anderen Varianten ab. Die durch die gelben Balken dargestellten Standardabweichungen spiegeln hierbei die Unsicherheiten wider, die sich aus der Verwendung von Kostenspannen ergeben.

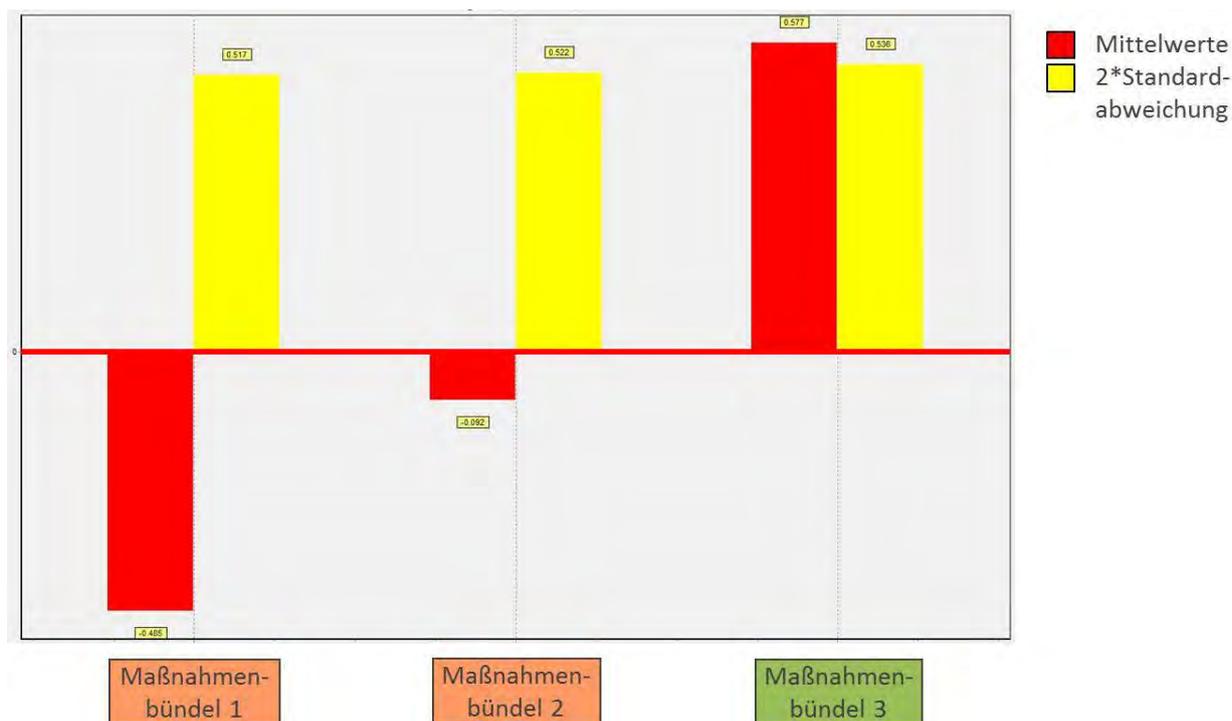


Abb. 23: Nettoflüsse der Maßnahmenbündel

Anmerkung: Je größer der rote Balken über (unter) der roten Nulllinie (Pro-Stimmen  $\neq$  Contra-Stimmen) ist, desto besser (schlechter) schneidet das betrachtete Maßnahmenbündel ab.

Der Vergleich der Gesamt-Nettoflüsse erlaubt unter Berücksichtigung der Standardabweichungen eine Beurteilung, ob die Rangordnung statistisch signifikant ist. Durch die Verwendung der doppelten Standardabweichung werden dabei 95% aller Stichprobenwerte erfasst. Ist die Differenz der Nettoflüsse klein im Vergleich zu den Standardabweichungen, so ist diese nicht als signifikant einzuordnen. Aufgrund der großen Daten- und/oder Gewichtungsvariabilität ist dann keine klare Entscheidung möglich, welche Alternative besser ist.

In diesem Fall ist die Differenz der Nettoflüsse v.a. zwischen den Maßnahmenbündeln 3 und 1 auch unter Berücksichtigung der auf die Verwendung von Kostenspannen zurückzuführenden Datenunsicherheiten groß genug, um auf Grundlage der genutzten Bewertungskriterien und deren Gewichtung die Überlegenheit von Maßnahmenbündel 3 festzustellen.

Abbildung 24 stellt das Ergebnis der Multikriterien-Analyse als Rangfolge der Maßnahmenbündel dar. Die Balken bilden die Wahrscheinlichkeit ab, mit der die Maßnahmenbündel den ersten bis dritten Rang belegen. Erneut zeigt sich, dass die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass das Maßnahmenbündel 3 im Sinne der Zielsetzung des Analyseverfahrens die geeignetste Lösung darstellt. Es ist zudem sehr wahrscheinlich, dass das Maßnahmenbündel 1 die am wenigsten geeignete Option ist.

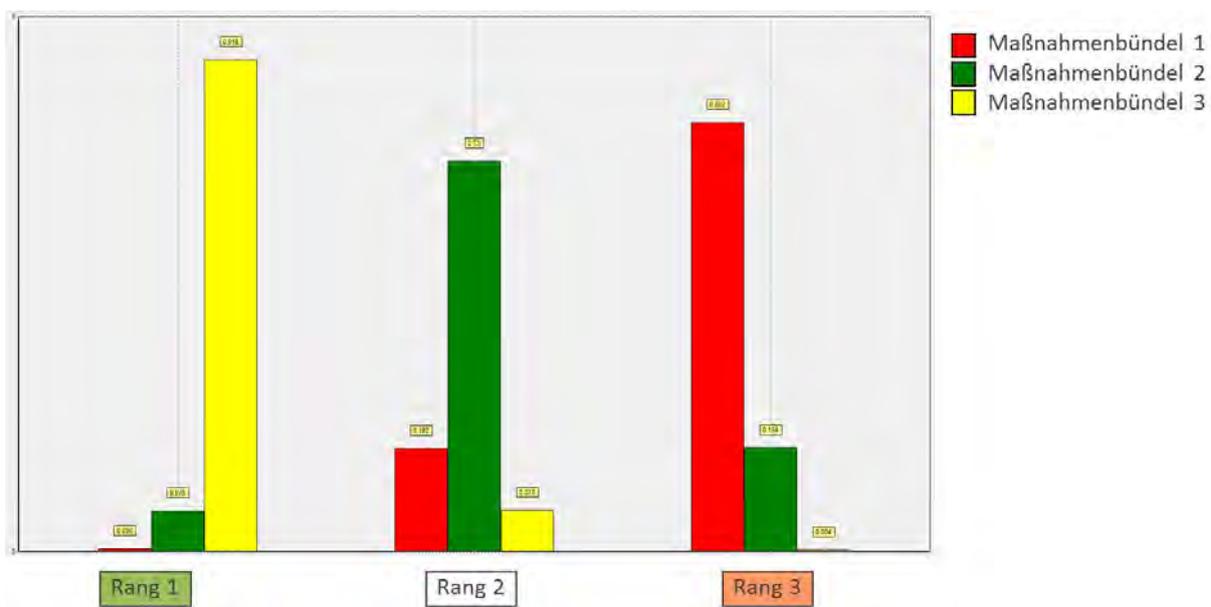


Abb. 24: Rangfolge der Maßnahmenbündel

Anmerkung: Die Zahlen geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der der jeweilige Rang belegt wird.

## Anhang 5: Bewertungssoftware PRIMATE

Soll ein anspruchsvolleres multikriterielles Verfahren angewendet werden, bietet sich die Nutzung einer Bewertungssoftware an. Ein solches Instrument ist bspw. das von Dr. Martin Drechsler am UFZ entwickelte Instrument Probabilistic Multi-Attribute Evaluation – PRIMATE, das sowohl für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) als auch einer Multi-Kriterien-Analyse (MKA) ermöglicht. Die MKA wendet dabei das Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations – PROMETHEE-Verfahren an. Bei dieser Variante der MKA wird eine Reihung der Handlungsoptionen auf Grundlage eines paarweisen Vergleichs der Alternativen über alle Bewertungskriterien vorgenommen.

Für die Durchführung der MKA ist es zunächst notwendig, die zu vergleichenden Handlungsoptionen und Bewertungskriterien sowie die für die Alternativen ermittelten Kriterienwerte und Kriteriengewichtungen in PRIMATE einzugeben. Dabei können datenbezogene Unsicherheiten durch die Nutzung von Wertespannen berücksichtigt werden. Die angegebenen Minimal- und Maximalwerte spannen dabei einen Wertebereich auf, aus dem PRIMATE bis zu 10.000 zufällige Werte zieht. Für jeden zufällig gezogenen Wert wird eine vollständige MKA durchgeführt und die Ergebnisse aller Analysen werden mit Hilfe von Mittelwerten, Varianzen sowie Rangverteilungen statistisch ausgewertet.

Darüber hinaus können ebenfalls Unsicherheiten berücksichtigt werden, die sich aus unterschiedlichen Einschätzungen der Relevanz der verwendeten Bewertungskriterien durch die an der Entscheidung beteiligten Anspruchsgruppen ergeben. In PRIMATE besteht die Möglichkeit, eine Gewichtung der Bewertungskriterien mit Globalgewichten, d.h. bis zu 10.000 zufälligen Gewichtskombinationen, oder aber mit empirisch ermittelten Gewichten für bis zu 16 Einzelkriterien, 5 Kriteriengruppen und 16 Entscheider-Gruppen vorzunehmen. Für jede Gewichtskonfiguration wird dabei eine vollständige MKA durchgeführt und die Ergebnisse aller Analysen werden mit Hilfe von Mittelwerten, Varianzen sowie Rangverteilungen statistisch ausgewertet.

PRIMATE bereitet die Bewertungsergebnisse so auf, dass sowohl eine Rangfolge der Handlungsoptionen entsprechend deren Eignung als auch die Dokumentation der mit dieser Priorisierung verbundenen Unsicherheiten ausgegeben wird. Darüber hinaus kann jeweils ein Ranking für jede Entscheider-Gruppe ausgegeben werden. Diese durch einen systematischen Vergleich der Handlungsoptionen gewonnenen Informationen können die Verantwortlichen dabei unterstützen, eine ausgewogene Entscheidung zu treffen.

Die Bewertungssoftware PRIMATE kann interessierten Kommunen durch das UFZ <E-Mail: [volker.meyer@ufz.de](mailto:volker.meyer@ufz.de)> kostenfrei bereitgestellt werden.

## Anhang 6: Übersicht zu den sieben Expertisen von StadtklimaExWoSt

Expertisen	Inhalt
<p><b>Flexible Planung: Methoden, Verfahren und Instrumente für anpassungsflexible Raum- und Siedlungsstrukturen</b></p>	<p>Im Fokus dieser Expertise steht die Flexibilisierung der Planung für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Hierzu werden Verfahren, Instrumente und Methoden einer anpassungsflexiblen Raum- und Siedlungsstrukturen vorgestellt.</p> <p>Darstellung von Best-Practice-Beispielen zur Anwendung flexibler Planungen</p> <p>Integration der Ergebnisse in das Betroffenheitsmodul des Stadtklimalotsen</p> <p>Zielgruppe: Akteure des Bundes, Kommunale Verwaltungsakteure</p>
<p><b>Weiterentwicklung planungsbezogener Empfehlungen</b></p>	<p>Hinweis auf Instrumente, mit denen Kommunen zügig einen Klimaanpassungsprozess initiieren können.</p> <p>Zielgruppe: Kommunale Verwaltungsakteure</p>
<p><b>Alles im Wandel: Demographische und klimatische Veränderungen im Kontext der integrierten Stadtentwicklung</b></p>	<p>Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den beiden Handlungsfeldern "demographischer Wandel" und "klimatischer Wandel" sowie aufzeigen des erforderlichen Forschungs- und Handlungsbedarfs.</p> <p>Die Expertise bildet eine Grundlagen zur Erstellung der Expertise "Leitfaden Klimafolgenanalyse"</p> <p>Zielgruppe: Akteure des Bundes, kommunale Vertreter der ExWoSt-Modellvorhaben, Kommunen, Anwender des Betroffenheitsmoduls des Stadtklimalotsen</p>
<p><b>Leitfaden Klimafolgenanalyse: Methodischer Ansatz zur Abschätzung von Klimafolgen auf kommunaler Ebene</b></p>	<p>Ziel ist die Entwicklung methodischen Grundlagen für die Durchführung einer Vulnerabilitätsanalyse Stadtklimawandel.</p> <p>Hierzu werden Synergien und Konflikte zwischen den drei Handlungsfeldern (demographischer Wandel, Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel) aufgezeigt.</p> <p>Integration der Ergebnisse in das Betroffenheitsmodul des Stadtklimalotsen</p> <p>Zielgruppe: Akteure des Bundes, kommunale Verwaltungsakteure aus Klein- und Mittelstädten</p>
<p><b>Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen – Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung</b></p>	<p>Die Kosten und Nutzen von Klimaanpassungsmaßnahmen lassen sich aufgrund der hohen Unsicherheiten von Klimaszenarien nur sehr grob abschätzen.</p> <p>Der vorliegende Leitfaden der Expertise beschreibt ein einfaches Verfahren zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen, welches Kommunen als Entscheidungsunterstützungsinstrument bei der Planung dienen soll.</p> <p>Zielgruppe: Akteure des Bundes, Kommunale Verwaltungsakteure</p>

Expertisen	Inhalt
<p><b>Doppik-gestützter Informationsgewinn für Grün- und Freiflächen im Kontext der klimagerechten Stadtentwicklung</b></p>	<p>Möglichkeiten zur Abbildung der Rentabilität von Anpassungsmaßnahmen in der Doppik</p> <p>Grundlagen für ein doppik-gestütztes, effektives und klimagerechtes Grünflächenmanagement</p> <p>Argumentationshilfen zur Diskussion eines Mehrwerts von Grün- und Freiflächen im Quartier sowie Diskussion möglicher Kennzahl zur Steuerung der klimagerechten Grün- und Freiflächenentwicklung.</p> <p>Zielgruppe: kommunale Verwaltungsakteure, politische Entscheidungsträger</p>
<p><b>Kommunikationsinstrumente im Anpassungsprozess an den Klimawandel</b></p>	<p>Die Expertise stellt zielgruppenspezifischen Kommunikationsinstrumenten vor, mit denen sich das Thema Anpassung an den Klimawandel bei Stakeholdern und in der Öffentlichkeit vermitteln lässt.</p> <p>Diskussion der Frage: Wie lässt sich das Thema Anpassung an den Klimawandel in die aktuelle öffentliche (Fach-) Diskussion integrieren?</p> <p>Steckbriefe mit Kurzinfos zu einzelnen Kommunikationsinstrumenten.</p> <p>Zielgruppe: Akteure des Bundes, kommunale Verwaltungsakteure, Fachöffentlichkeit in den Kommunen</p>

Tab. 15: Übersicht StadtKlimaExWoSt-Expertisen

## Weiterführende Literatur

Altvater, S.; Block, D. de; Bouwma, I; Dworak, T.; Frelih-Larsen, A.; Görlach, B.; Hermeling, C; Klostermann, J.; König, M.; Leitner, M.; Marinova, N.; McCallum, S.; Naumann, S.; Osberghaus, D.; Prutsch, A.; Reif, C.; Sandt, K. van de; Swart, R.; Tröltzsch, J. (2012): Adaptation Measures in the EU: Policies, Costs, and Economic Assessment, Wien/Wageningen/Mannheim.

Bednar-Friedl, B.; Koland, O.; König, M.; Raab, J. (2011): Die gesellschaftlichen Kosten von Anpassung: Ansätze für eine Bewertung von Anpassungsoptionen (SALDO). Endbericht von StartClim2010.C in Start-Clim2010: Anpassung an den Klimawandel: Weitere Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, BMWFJ, ÖBF, Graz/Wien.

BMVBS (Hrsg.) (2011): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung - Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen, Forschungen, Heft 149, Berlin.

BMVBS (Hrsg.) (2012): Stadtklima: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel, ExWoSt-Informationen 39/3, Berlin.

Drechsler, M. (1999): "Verfahren zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung bei Unsicherheit", In: H. Horsch, I. Ring (Hg.): Naturressourcenschutz und wirtschaftliche Entwicklung Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung im Elbeinzugsgebiet, Leipzig.

Drechsler, M. (2004): PRIMATE - An interactive software for Probabilistic Multi-Attribute Evaluation, Software-Handbuch, Leipzig.

DWA (Hrsg.) (2008): Arbeitshilfe Hochwasserschadensinformationen, DWA-Themen, Hennef.

Gebhardt, O.; Brenck, M; Meyer, V.; Hansjürgens, B. (2012): Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung. Ökonomische Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen am Beispiel der Stadt Sangerhausen, Landkreis Mansfeld-Südharz, Projektbericht Februar 2012.

Hanley, N.; Spash, C. (1993): Cost-Benefit Analysis and the Environment, Cheltenham.

Hanusch, H. (1994): Nutzen-Kosten-Analyse, München.

ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena, Schriften zur Stadtentwicklung No 3., Kapitel 10 und 11.1, S. 114-122.

Tröltzsch, J.; Görlach, B.; Lückge, H.; Peter, M.; Sartorius, C. (2011a): Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel – Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, Climatic Change 19/2011, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Tröltzsch, J.; Görlach, B.; Lückge, H.; Peter, M.; Sartorius, C. (2011b): Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, Zwischenbericht Arbeitspaket 2, FKZ 3709 41 121, März 2011, Berlin.

Zimmermann, H. J.; Gutsche, L. (1991): Multi-Criteria Analyse - Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Darstellung der 5. Stufen des Bewertungsprozesse, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 2: Heutige Parkfläche auf dem Eichplatz, BPW
- Abb. 3: Überhitzungsgefährdung Stadtgebiet Jena auf Basis von Versiegelungsgrad, Baustruktur, Globalstrahlung, lokalen und regionalen Windsystem, ThINK (2011): JenKAS-Projekt
- Abb. 4: Rangfolgen der bewerteten Maßnahmen, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 5: Leutra Einzugsgebiet, Thiele + Büttner GbR - Ingenieurgemeinschaft für Hydrologie, Hydraulik und Hydroinformatik (2010): Hydrologisches und hydraulisches Gutachten für die Leutra im Jenaer Mühlital, Erfurt.
- Abb. 6: Goethe-Galerie bei Leutra-Hochwasser 1994, Stadt Jena/ Fachdienst Umweltschutz (1994); Räumung Leutra-Rechen 2006, Stadt Jena/ Fachdienst Umweltschutz (2006)
- Abb. 7: Beschädigtes Rechenbauwerk am Zugang zum Leutra-Tunnel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 8: Lageplan Variante 4 und Lageplan Variant 6, Ingenieurbüro Probst (2011): Ersatzneubau des Rechenbauwerkes am Einlauf des Leutratunnels in Jena, Vorplanung
- Abb. 9: Nettoflüsse der bewerteten Varianten des Rechenbauwerkes, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 10: Nettoflüsse der bewerteten Varianten des Rechenbauwerkes nach Entscheidern, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 11: Rangfolge der bewerteten Varianten des Rechenbauwerkes, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 12: Überhitzungsgefährdung Stadtgebiet Jena auf Basis von Versiegelungsgrad, Baustruktur, Globalstrahlung, lokalen und regionalen Windsystem, ThINK (2011): JenKAS-Projekt
- Abb. 13: 3. Entwurf Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan, B-J 12/2011 Eichplatz, Stadt Jena (2011)
- Abb. 14: Nettoflüsse der bewerteten Maßnahmen, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 15: Gesamtbewertung: Nettoflüsse nach Maßnahmen und Entscheidern, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 16: Rangfolgen der bewerteten Maßnahmen, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 17: Hochwassergefährdung des Betriebsgeländes, Bezirksregierung Köln (2011)
- Abb. 18: Fotos: 1) Zufahrt Betriebsgelände, (2) Brücke über die Vicht, (3) Am Binsfeldhammer, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 19: Nettoflüsse der bewerteten Maßnahmenbündel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 20: Rangfolge der bewerteten Maßnahmenbündel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 21: Städtebaulicher Entwurf Aachen Richtericher Dell (Stand 20.03.2012), Spengler Wiescholek Architekten Stadtplaner, Hamburg (2012)
- Abb. 22: Nettonutzen der Maßnahmenbündel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 23: Nettoflüsse der Maßnahmenbündel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Abb. 24: Rangfolge der Maßnahmenbündel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

**Tabellenverzeichnis**

- Tab. 1: Beispiel Bewertungsblatt für Einzelmaßnahmen, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 2: Hypothetische Gewichtung der Bewertungskriterien durch Stakeholder, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 3: Datenmatrix der Alternativen und Kostenkriterien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 4: Datenmatrix der Alternative und Nutzenkriterien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 5: Ausgefüllte PRIMATE-Datenmaske, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 6: Beispiele für mögliche Datenquellen, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 7: Ausführungsvarianten des Rechenbauwerks an der Leutra, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 8: Bewertungskriterien für die Maßnahmen zum Hochwasserschutz an der Leutra, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 9: Bewertete Handlungsoptionen Fallbeispiel Eichplatz, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 10: Bewertungskriterien für Anpassungsmaßnahmen gegen Überhitzung, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 11: Maßnahmenbündel zum betrieblichen Hochwasserschutz, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 12: Bewertungskriterien für Maßnahmenbündel zum betrieblichen Hochwasserschutz, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 13: Maßnahmenbündel Niederschlagswassermanagement in Aachen Richtericher Dell, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Tab. 14: Bewertungskriterien für Maßnahmenbündel zum Niederschlagswassermanagement
- Tab. 15: Übersicht der StadtKlimaExWoSt-Expertisen