

FZR-201
November 1997

Archiv-Ex.:

Dipl.-Phys. Kruber, Stefan

**Anwendung der Entscheidungsanalyse
bei der Sanierung von Altlasten**

Herausgeber:
FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF
Postfach 51 01 19
D-01314 Dresden
Telefon (03 51) 26 00
Telefax (03 51) 2 69 04 61

Als Manuskript gedruckt
Alle Rechte beim Herausgeber

Anwendung der Entscheidungsanalyse
bei der Sanierung von Altlasten

Von der Fakultät Maschinenwesen
der
Technischen Universität Dresden

zur

Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)
angenommene Dissertation

Dipl.-Phys. Kruber, Stefan
geb. am 11.11.66 in Obernbeck

Tag der Einreichung: 20.02.1997

Tag der Verteidigung: 11.11.1997

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. W. Albers
Prof. Dr. rer. nat. R. Avenhaus
Prof. Dr. rer. nat. F.-P. Weiß

Prof. Dr. sc. techn. K.-E. Militzer
Vorsitzender der Promotionskommission

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Einführung in die Altlastenbearbeitung	3
2.1. Darlegung der Bearbeitungsschritte bei einer Altlastensanierung	3
2.2. Teilschritte der Sanierungsuntersuchung	7
2.3. Anforderungen an Methodiken und Hilfsmittel für die Sanierungsentscheidung	9
3. Einführung in die Entscheidungsanalyse	11
3.1. Ursprünge der Entscheidungsanalyse	13
3.2. Grundlagen der Entscheidungsanalyse	14
3.3. Strukturierung des Entscheidungsprozesses	17
3.4. Generierung von Handlungsalternativen	18
3.5. Aufstellung einer Kriterienliste	18
3.6. Definition von Attributen	20
3.7. Quantifizierung und Wahrscheinlichkeiten	21
3.8. Bestimmung von eindimensionalen Nutzenfunktionen	25
3.9. Aufstellung einer Gesamtnutzenfunktion	27
3.10. Bestimmung der Abwägungsparameter	29
3.11. Evaluation der Alternativen	31
3.12. Ableitung von Modellimplikationen	32
3.13. Analyse der Eignung der EA für die Sanierungsentscheidung	33
4. Hilfsmittel für die Sanierungsentscheidung	36
4.1. Wissensbasierte Hilfsmittel	36
4.2. Modellorientierte Hilfsmittel	38
4.3. Darstellung der verwendeten Hilfsmittel	39
4.3.1. Voraussetzungen für die Anwendung des Programmsystems	43
4.3.2. Aufbau und Datenstrukturen	44
4.3.3. Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung abhängiger Elemente	47
4.3.4. Hilfsmittel zur Untersuchung des Entscheidungsmodells	48
5. Anwendungsfall Deponie Bergen	53
5.1. Beschreibung der Deponie Bergen	53
5.2. Vor- und Nachteile der Deponie Bergen als Anwendungsfall	56
5.3. Darstellung der Vorgehensweise mit Ergebnissen	57
5.3.1. Vorbereitende Arbeiten - Identifizierung relevanter Personengruppen und Wahl des Entscheidungsgegenstandes	57
5.3.2. Kriterienerstellung	58
5.3.2.1. Erstellung von personenspezifischen Kriterienlisten	58

5.3.2.2. Diskussion der entstandenen Kriterienliste	62
5.3.3. Erstellung und Quantifizierung von Sanierungskonzepten	71
5.3.3.1. Erstellung von Sanierungsmaßnahmen	72
5.3.3.2. Erstellung von Nutzungs- und Deponiebetriebsszenarien	73
5.3.3.3. Kurzbeschreibung der untersuchten Sanierungskonzepte	74
5.3.3.4. Quantifizierung der Sanierungskonzepte	76
5.3.3.5. Probleme der Konzepterstellung und -quantifizierung	79
5.3.4. Gesamtnutzenfunktionen	82
5.3.4.1. Festlegung von Abwägungsparametern	83
5.3.4.2. Bestimmung von Nutzenfunktionen	87
5.3.4.3. Zusammenfassung zu einem Konsensvorschlag	90
5.3.5. Präsentation der Implikationen des Entscheidungsmodells	93
5.3.5.1. Inspektion des Quantifizierungsteiles	93
5.3.5.2. Vorstellung des Bewertungsteiles	96
5.3.5.3. Ableitung von Ergebnissen und Handlungshinweisen	100
5.3.6. Diskussion des entstandenen Entscheidungsmodells	104
6. Anwendbarkeit der EA im Altlastenbereich	106
6.1. Was bedeutet Anwendbarkeit ?	106
6.2. Vermittelbarkeit notwendiger EA-Kenntnisse	106
6.2.1. Projektbegleiter	106
6.2.2. Vorbereitung von Personen auf die Anwendung der EA	112
6.3. Anforderungen an Sanierungsfälle zur EA-Anwendung	113
6.4. Durchführbarkeit der Arbeitsschritte der EA	115
6.4.1. Auswahl des Entscheidungsgegenstandes - Randbedingungen	115
6.4.2. Kriteriensysteme bei öffentlichen Entscheidungen	117
6.4.3. Erstellung und Quantifizierung von Sanierungskonzepten	120
6.4.3.1. Planerische Vorgehensweise zur Erstellung von Sanierungskonzepten	120
6.4.3.2. Wettbewerbsorientierte Vorgehensweise	122
6.4.4. Behandlung multiattributiver Probleme	125
6.5. Aus der EA-Anwendung resultierende Vorteile	129
7. Methodische Erweiterungen der EA	132
7.1. Handlungsnetze	132
7.2. Mehrpersonenentscheidungen	136
8. Erweiterungen des Programmsystems	140
8.1. Erweiterte Werkzeuge zur Erstellung von Bewertungssystemen	140
8.2. Hilfsmittel zur Präsentation der Ergebnisse	145
9. Zusammenfassung	148
Literaturverzeichnis	156
Anhang: Beispiel zur Berechnung des Wertes von Informationen	161

1. Einleitung

Altstandorte und Altablagerungen sind in der Bundesrepublik Deutschland zu einem relevanten Problem geworden. Mehr als 140.000 Verdachtsflächen existieren auf deutschem Gebiet /RSU-95/, ungefähr 10% davon werden als sanierungsbedürftig eingeschätzt. Experten beziffern den Sanierungsaufwand innerhalb der nächsten Jahre auf 25 bis 150 Milliarden DM. In Anbetracht dieser Größenordnung muß nach Wegen gesucht werden, die in diesem Umfeld zu treffenden Entscheidungen auf eine methodisch sichere Basis zu stellen.

Eine spezielle Aufgabe, die sich bei der Abarbeitung eines Altlastenfalles ergibt, ist die Entscheidung über das durchzuführende Sanierungskonzept. Dabei muß sichergestellt werden, daß weder eine teure Luxussanierung durchgeführt wird, noch daß notwendige Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und des Menschen unterbleiben. Angestrebt wird eine angemessene Sanierung, wobei es insbesondere im Interesse staatlicher Behörden liegt, auf Konsistenz zwischen verschiedenen Altlastenfällen zu achten.

Mit der vorliegenden Arbeit wird versucht, ein Verfahren zu entwickeln und zu erproben, das die oben skizzierte Entscheidung unterstützt. Dabei wird auf die Methoden der Entscheidungsanalyse (EA) zurückgegriffen. Diese zeichnet sich insbesondere durch ihre theoretische Fundierung, durch die exakte Definition der verwendeten Begriffe und durch die vielfältigen Modellierungs- und Untersuchungsmöglichkeiten gegenüber anderen entscheidungsunterstützenden Ansätzen aus.

Die EA wurde ursprünglich zur Unterstützung von internen Entscheidungen entwickelt. Dieser Typ von Entscheidungen tritt z.B. bei privatwirtschaftlichen, militärischen oder medizinischen Problemstellungen auf. Für die Anwendung im Altlastensektor, wo die zu treffenden Entscheidungen häufig einen Konsens vieler Personen darstellen und gegenüber der Öffentlichkeit begründet werden müssen, können bei der Verwendung der EA zahlreiche Probleme auftreten. Diese zu analysieren und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen, ist das Hauptanliegen dieser Arbeit.

In Anlehnung an einen realen Altlastenfall wurde untersucht, inwieweit eine Anwendung der EA in der Praxis realisierbar ist. Um möglichst realitätsnahe und praxisrelevante Ergebnisse zu erhalten, wurden alle Personen, die auch an dem realen Fall beteiligt sind, zur Mitarbeit gewonnen.

Aus den Ergebnissen des Beispiels wurden Schlußfolgerungen gezogen, die die allgemeine Anwendbarkeit der EA für den Altlastensektor betreffen. Da die Sanierungsentscheidung als ein spezieller Vertreter für öffentliche Entscheidungen im Umweltsektor angesehen werden kann, ergeben sich somit Ergebnisse, die auch auf anderen Gebieten, wie z.B. der Abfallentsorgung, der Verkehrsplanung oder der umweltverträglichen Wirtschaftsentwicklung Verwendung finden können.

Im ersten Abschnitt des Kapitel 2. wird zunächst eine kurze Einführung in die Praxis der Altlastenbearbeitung gegeben. Dabei werden die grundsätzliche Problematik und die Schritte, die bei der Bearbeitung von Altlasten durchzuführen sind, näher erläutert sowie das personelle Umfeld vorgestellt. Im zweiten Abschnitt werden die Arbeitsschritte, die sich während der Sanierungsuntersuchung ergeben und die in die Sanierungsentscheidung münden, erläutert und die wichtigsten, im Zuge dieser Entscheidung zu lösenden Probleme präsentiert. Dadurch wird plausibel, weshalb diese Entscheidungssituation für methodische Untersuchungen aufschlußreich ist. Aufbauend auf dieser Problemcharakterisierung werden im Abschnitt 2.3. Anforderungen an Methodiken und Hilfsmittel für die Sanierungsentscheidung definiert.

Kapitel 3. beschreibt zuerst kurz ausgewählte Methodiken, die für die Sanierungsentscheidung eingesetzt werden könnten. Kurz vorgestellt und diskutiert werden die Methode der Anspruchsniveaus und die Kosten-Nutzen-Analyse. Dann folgen die mathematischen Grundlagen der EA und die einzelnen Schritte der EA-Anwendung (3.1.-12.). Abschließend wird eine Analyse der Eignung der EA bei Sanierungsentscheidungen aus methodischer Sicht vorgelegt.

Kapitel 4. beschäftigt sich mit Hilfsmitteln zur Umsetzung der gewählten entscheidungsunterstützenden Methodik. In den ersten beiden Abschnitten werden zwei prinzipiell unterschiedliche Verwendungsweisen von Methodiken, die wissensbasierten und die modellierenden Hilfsmittel, vorgestellt und ihre Eigenschaften mit den Anforderungen aus 2.3. verglichen. Im Abschnitt 4.3. werden drei modellierende Hilfsmittel für die EA (Entscheidungsbäume, Influenzdiagramme, Funktionsnetzwerke) kurz auf Konformität mit den Anforderungen aus 2.3. untersucht. Dann folgt eine Beschreibung des verwendeten Programmsystems.

Die Anwendung der EA wurde an einem konkreten Sanierungsfall getestet. Dieser wird im Abschnitt 5.1. beschrieben und seine Vor- und Nachteile in 5.2. diskutiert. Abschnitt 5.3. enthält eine Beschreibung der Vorgehensweise, eine Diskussion der aufgetretenen Probleme und die fallbezogenen Ergebnisse.

Im Kapitel 6. werden die wichtigsten Ergebnisse und Schlußfolgerungen bezüglich der Anwendbarkeit der EA für Sanierungsentscheidungen dargestellt. Dabei werden die wichtigsten Probleme, die im Anwendungsfall auftraten, erneut aufgegriffen und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Detailliert behandelt wird das Problem der Vermittelbarkeit notwendiger EA-Kenntnisse, Problempunkte bei der Durchführung der einzelnen EA-Bearbeitungsschritte und abschließend eine Aufzählung der durch die EA-Anwendung für die beteiligten Personen zu erwartenden Vorteile.

Das Kapitel 7. zieht Rückschlüsse von der Anwendung auf die Methodik der EA. Diese beziehen sich auf die Darstellung komplexer Handlungsstrukturen und die Möglichkeiten zur Unterstützung von Mehrpersonenentscheidungen. Auf sinnvolle Erweiterungen des entwickelten Programmsystems in Richtung einer verbesserten Unterstützung bei der Erstellung von Bewertungssystemen und der Präsentation der EA-Ergebnisse geht Kapitel 8. ein.

2. Einführung in die Altlastenbearbeitung

2.1. Darlegung der Bearbeitungsschritte bei einer Altlastensanierung

Der Begriff 'Altlast' wird wie folgt definiert /RSU-95/ :

"Altlasten sind Altstandorte und Altablagerungen, sofern von ihnen Gefährdungen für die Umwelt, insbesondere der menschlichen Gesundheit, ausgehen oder zu erwarten sind."

Die Ursachen der Entstehung von Umweltaaltlasten sind vielfältig. Ein Teil der heutigen Problemflächen entstand durch unsachgemäße Ablagerung von Abfällen. Diese bezeichnet man mit dem Begriff der Altablagerung. Dabei sind nicht nur die sogenannten wilden Müllkippen als unsachgemäße Ablagerung zu betrachten, sondern sogar genehmigte Deponien erweisen sich heute z.T. als eine Gefährdung für die Umwelt. Andere Umweltaaltlasten sind durch den unsachgemäßen Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen entstanden. Durch Umschlag oder Verarbeitung in defekten Anlagen versickerten häufig größere Mengen von Umweltnoxen ins Erdreich. So entstanden die heute als Altstandorte bezeichneten Problemflächen. Schließlich existieren die sogenannten Rüstungsaltlasten. Unter diesen Begriff fallen Standorte der Rüstungsindustrie und militärische Flächen, auf denen Munition oder Kampfstoffe unsachgemäß entsorgt wurden. Auch einige Kriegsfolgelasten, z.B. bei Angriffen zerstörte Chemiestandorte, sind zu verzeichnen. Großflächige Kontaminationen, wie sie beim sauren Regen oder der Schwermetallbelastung durch Kfz-Abgase auftreten, fallen nicht unter den Begriff der Altlast.

Die Schädwirkungen von Altlasten reichen über die Gefährdung oder Schädigung der Schutzgüter (Wasser, Boden, Luft, Pflanzen, Tiere, Mensch) hinaus. Insbesondere die direkten wirtschaftlichen Folgewirkungen von Altlasten sind häufig der eigentliche Auslöser für Sanierungsmaßnahmen. So sind kontaminierte Flächen für eine Bebauung oder gewerblich-industrielle Nutzung ungeeignet und hemmen damit die wirtschaftliche Entwicklung. Als direkte wirtschaftliche Schäden können weiterhin Zerstörungen an Bauwerken und Infrastruktureinrichtungen auftreten. Auch die sozialen Auswirkungen von Altlasten dürfen nicht unterschätzt werden. So sind bei Personen, die unmittelbar an oder sogar auf der Altlast wohnen, psychische und soziale Belastungen zu verzeichnen. Schon die bloße Existenz einer Altlast kann die Attraktivität eines Gebietes drastisch verschlechtern. Daraus folgen dann indirekte wirtschaftliche Schäden, wie die Minderung der Grundstückswerte in der Nachbarschaft einer Altlast oder verminderte Einnahmen für den Fremdenverkehr.

Zur Beseitigung der von einer Altlast verursachten Schäden bzw. ausgehenden Gefahren müssen Maßnahmen ergriffen werden. Die **Bearbeitung von Altlasten** erfolgt dabei nach den in Abbildung 1. dargestellten Schritten.

1. Durch veränderte Nutzungsbedingungen eines Standortes, durch Hinweise oder durch eine systematische Untersuchung aller Altstandorte und Altablagerungen wird eine Altlastenverdachtsfläche **entdeckt**. Es erfolgt eine **Ersterfassung** des Objektes in einem Kataster. Im Rahmen der **formalen Erstbewertung** wird festgestellt, ob das betrachtete Objekt unter den Begriff der Altlast fällt und von relevanter Größenordnung ist. Daraus folgt, mit welcher Dringlichkeit das Objekt näher zu untersuchen ist.

2. Die **Gefährdungsabschätzung** hat das Ziel, festzustellen, ob von der Altlast eine Gefahr für den Menschen oder die Umwelt ausgeht. Je nach Sachlage, muß eine Sanierung der Altlast erfolgen oder die Altlast weiter überwacht werden. Falls sich der Gefahrenverdacht nicht bestätigt, kann die Altlast aus der Bearbeitung entlassen werden. Es erfolgt eine stufenweise Erhöhung des Informationsstandes über die Altlast und nach jedem Schritt wird erneut eine Gefährdungsabschätzung vorgenommen¹. Ungefährliche Verdachtsflächen werden somit frühestmöglich erkannt und damit die Aufwendungen für Untersuchungen minimiert.

Aufgabe der **historischen Erkundung** ist es, beprobungslos (Aktensichtung, Anwohnerbefragungen, Begehung) alle Informationen zu sammeln, die über die Altlast verfügbar sind. Dies beinhaltet z.B. geologische und hydrologische Daten, Nutzungsinformationen und Hinweise zu Inhaltsstoffen. Auf der Basis der gesammelten Informationen erfolgt eine erste Gefährdungsabschätzung.

Während der **orientierenden, technischen Erkundung** werden die Altlast und angrenzende Schutzgüter (Luft, Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser) in einem groben Raster beprobt. Basierend auf den Analyseergebnissen wird eine weitere Spezifizierung der Gefährdungsabschätzung vorgenommen.

Die **detaillierte, technische Erkundung** verfeinert die Beprobungen. Anhand der Gefährdungsabschätzung nach der detaillierten, technischen Erkundung muß festgelegt werden, ob eine Sanierung erforderlich ist.

3. Ziel der **Sanierungsuntersuchung** ist es, verschiedene Sanierungsszenarien² zu entwickeln und die Daten für eine vergleichende Betrachtung zur Verfügung zu stellen. Dazu sind neben vertieften, verfahrensspezifischen Untersuchungen der Altlast häufig Laborexperimente bis hin zu Vorversuchen an der Altlast notwendig. Die Sanierungsuntersuchung mündet in der Sanierungsentscheidung, die das durchzuführende Sanierungsszenarium festlegt.

Während der **Sanierungsplanung** werden alle durchzuführenden Maßnahmen detailliert beschrieben. So sind u.a. Maßnahmen zum Arbeitsschutz, die Entsorgung von Reststoffen, die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur und die Koordinierung des Sanierungs-

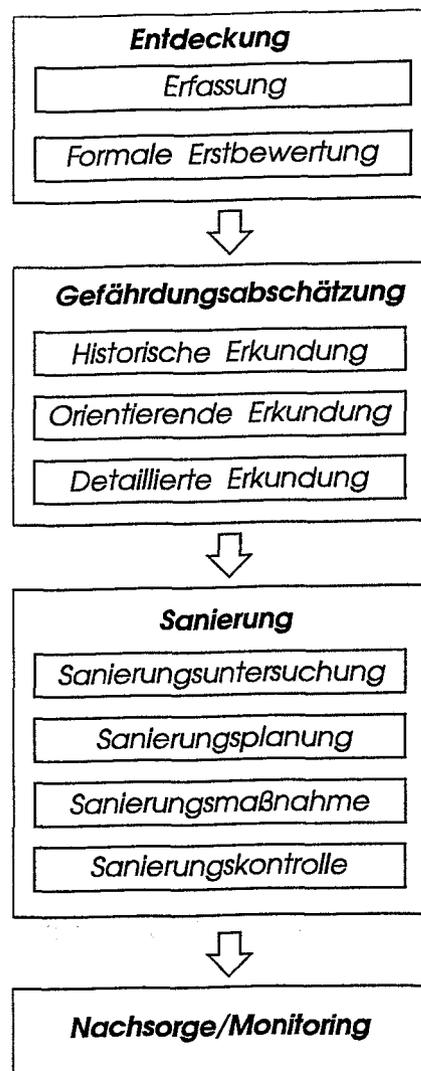


Abbildung 1. Teilschritte der Bearbeitung einer Altlast

¹ Die Untergliederung in "historische", "orientierende, technische" und detaillierte, technische" Erkundung entspricht dem Vorgehen gemäß der Sächsischen Altlastenmethodik /SMU-93/.

² Ein Sanierungsszenarium darf nicht nur die eigentlichen Kernmaßnahmen beinhalten, sondern muß auch die begleitenden Maßnahmen, die Erfolgskontrolle, die Festlegung des nach Abschluß der Sanierung durchzuführenden Monitorings bis hin zu verschiedenen Nutzungsszenarien für die sanierte und umliegende Fläche beschreiben.

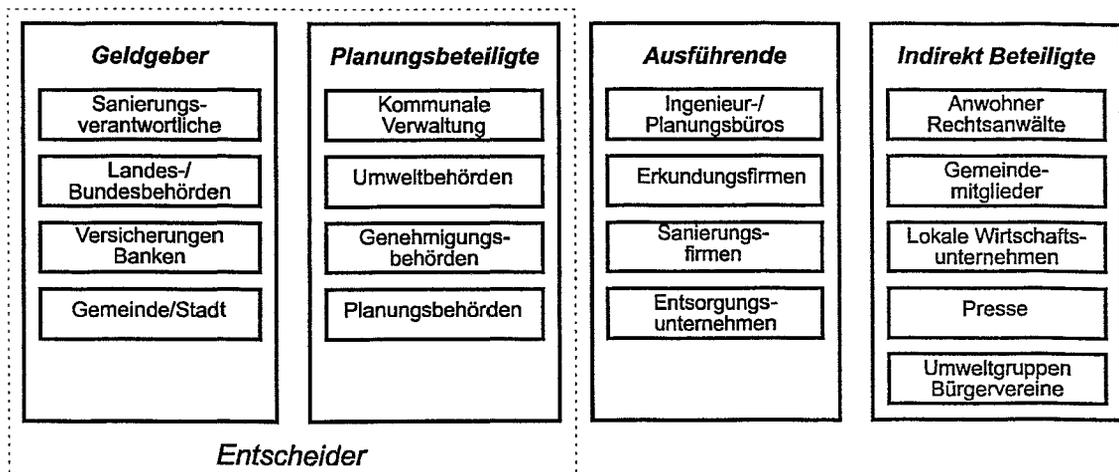


Abbildung 2. An der Bearbeitung eines Altlastenfalles beteiligte Personengruppen

prozesses festzulegen. Im Zuge einer Ausschreibung werden die ausführenden Firmen bestimmt.

Die **Sanierungsmaßnahme** beseitigt oder reduziert die bestehende Gefährdungssituation. Dies kann mit verschiedenen Verfahren erreicht werden, die sich grob in die Gruppen: Dekontamination, Sicherung, Umlagerung und Absperrung/Nutzungsänderung einteilen lassen. Bei einigen Sicherungen (z.B. hydraulische Sicherung) oder in-situ-Dekontaminationsverfahren (z.B. biologische Verfahren oder Bodenluftabsaugung) kann sich die Kernmaßnahme über viele Jahre erstrecken. Abschließend wird **kontrolliert**, ob die angestrebten **Sanierungsziele** erreicht wurden.

- Der letzte Schritt besteht im **Monitoring** der sanierten Altlast, d.h. einer periodischen Prüfung der austretenden Stoffströme auf unzulässige Schadstoffkonzentrationen. Gegebenenfalls ist eine Nachsorge (z.B. Reparatur einer Dichtwand) notwendig.

An der Bearbeitung von Altlasten sind viele, verschiedene Personengruppen direkt oder indirekt beteiligt (s. Abb. 2., s.a. /Rahrbach-93/). Die wichtigste Person ist der **Sanierungsverantwortliche**. Der Ausdruck 'Person' ist hier im juristischen Sinne zu verstehen, d.h. es kann sich hier um ein Wirtschaftsunternehmen, um eine staatliche Institution, um einen Verband oder um eine Privatperson handeln. Eine Person wird verantwortlich, wenn auf sie der Begriff des Zustandsstörers (Besitzer eines umweltgefährdenden Objektes) oder des Handlungsstörers (Verursacher des Umweltschadens) zutrifft. Somit können auch mehrere Sanierungsverantwortliche existieren.

Häufig sind Privatpersonen oder kleinere Wirtschaftsunternehmen mit der Haftung für die Altlast überfordert. In diesem Fall muß die Gemeinde, das Land oder der Bund unterstützend als **Geldgeber** fungieren. In seltenen Fällen können auch Versicherungen oder Banken herangezogen werden. Die **Planungsbeteiligten** nehmen am Prozeß der Gefährdungsabschätzung und der Sanierung lenkend teil. Zusammen mit den Geldgebern entscheiden sie über die durchzuführenden Maßnahmen. Die Geldgeber und die Planungsbeteiligten werden im folgenden stets unter der Kurzbezeichnung **Entscheider** zusammengefaßt. Die **ausführenden Firmen** und die **indirekt Beteiligten** haben keinen unmittelbaren Einfluß auf die zu treffende Entscheidung. Die von ihnen eingebrachten Erfahrungen und Ansichten können jedoch von den Entscheidern aufgegriffen werden und bei der Wahl der durchzuführenden Maßnahmen berücksichtigt werden.

2.2. Teilschritte der Sanierungsuntersuchung

Im Laufe der Bearbeitung einer Altlast sind viele verschiedene Entscheidungen zu fällen: es sind Aussagen zur Relevanz der Altlast und zur Sanierungsdringlichkeit zu treffen; die Art und der Umfang der Untersuchungsmaßnahmen müssen in den verschiedenen Stufen der Gefährdungsabschätzung festgelegt werden; die Untersuchungsergebnisse müssen zur Feststellung der Gefährdung bewertet werden; es sind verschiedene Sanierungskonzepte zu entwickeln und eines davon zur Ausführung auszuwählen (Sanierungsuntersuchung) und die ausführenden Firmen müssen bestimmt werden.

Die im Rahmen der **Sanierungsuntersuchung** zu treffende Entscheidung über das durchzuführende Sanierungskonzept (Sanierungsentscheidung) ist aus methodischer Sicht besonders interessant, weil sie viele Ansatzpunkte für eine Entscheidungsunterstützung bietet. Sie soll im folgenden näher beschrieben werden (s. Abb. 3.).

a. Bevor Sanierungskonzepte erstellt werden können, müssen wichtige **Leitlinien** gesetzt werden. So müssen zum einen die **Randbedingungen** geklärt werden, die von allen Sanierungskonzepten zu erfüllen sind³. Charakteristisch für die Sanierungsentscheidung ist die Vielzahl möglicher Randbedingungen. Diese variieren von Sanierungsfall zu Sanierungsfall, so daß in der Regel jede Altlast als Einzelfall betrachtet werden muß. Die unter Berücksichtigung der Randbedingungen verbleibenden Entscheidungsspielräume werden als **Entscheidungsgegenstand** bezeichnet⁴.

Weiterhin muß im Hinblick auf die spätere Entscheidung definiert werden, welche Informationen für die Entscheidung benötigt werden. D.h. es müssen **Kriterien** bestimmt werden. Typisch für Altlastensanierungen ist, daß je nach Entscheidungsgegenstand und beteiligten Personen verschiedene Kriterien zu berücksichtigen sind. Kennzeichnend ist weiterhin, daß in der Regel mehrere Kriterien zur Bewertung der Sanierungskonzepte verwendet werden müssen. Dabei handelt es sich teilweise um intangible Kriterien, d.h. Aspekte, für die die Definition eines Maßstabes relativ schwierig ist (z.B. Landschaftsbild, Image der Region).

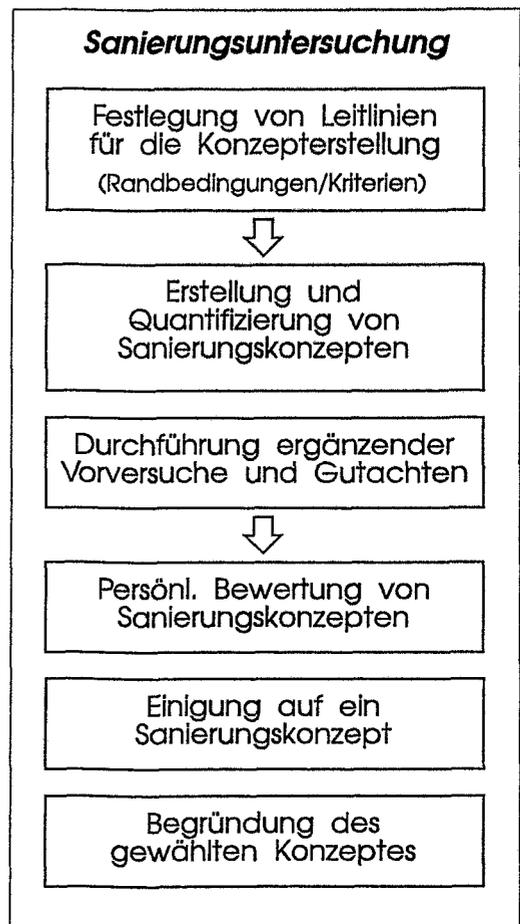


Abbildung 3. Teilschritte der Sanierungsuntersuchung

³ Randbedingungen können z.B. die spätere Nutzungsform, zeitliche und monetäre Grenzen sowie einzuhalten-
de Umweltgrenzwerte sein.

⁴ Beispiele dazu finden sich im Abschnitt 6.4.1.

- b. Die **Erstellung und Quantifizierung**⁵ von **Sanierungskonzepten** erfolgt in mehreren Schritten: In einem Vorauswahlschritt werden alle möglichen Sanierungsansätze auf technische/rechtliche Machbarkeit und auf Konformität mit den Randbedingungen geprüft. Technische Verfahren, die nur einen Teilschritt der Sanierung darstellen, werden durch ergänzende Maßnahmen zu Konzepten vervollständigt. Verfahren, die über kontinuierlich variierbare Parameter verfügen, wie z.B. die hydraulischen Sicherungsmaßnahmen oder die Bodenluftabsaugung (Pumprate), sind ggf. zu optimieren. Schließlich sind als wichtigster Teilschritt die Konzepte hinsichtlich der Bewertungskriterien zu quantifizieren. Dazu steht im Rahmen der Sanierungsuntersuchung zumeist ausreichend Zeit zur Verfügung⁶. In der Regel ist die Anzahl der zur Auswahl stehenden Handlungsalternativen gering. Somit ist es möglich, für jede Handlungsalternative eine sorgfältige Modellierung vorzunehmen.

Bei der Quantifizierung ergeben sich verschiedene Probleme, die typisch für die Sanierungsuntersuchung im Altlastenbereich sind:

- Die Sanierungsergebnisse können nicht genau prognostiziert werden. Die Unsicherheiten resultieren aus mangelnden Erfahrungen, prinzipiellen Informationsdefiziten und aus komplizierten Zusammenhängen, die nur durch die Verwendung vereinfachender Modelle erfaßt werden können. Eine häufig vorkommende Problemstellung bei der Altlastensanierung ist die Wahl zwischen einem erprobten Verfahren, mit relativ gut abschätzbaren aber hohen Kosten und einem neuentwickelten Verfahren, das niedrigere Kosten erwarten läßt, jedoch mit großen Kostenunsicherheiten behaftet ist.
 - Für die Quantifizierung der Alternativen werden Kenntnisse aus vielen verschiedenen Wissensgebieten benötigt. Sanierungsentscheidungen sind ein interdisziplinäres Problem, das nur durch Konsultation von Gutachtern verschiedener Fachgebiete adäquat behandelt werden kann. Die Gutachter müssen für die Quantifizierung fall-, alternativen- und kriterienspezifische Modelle und Berechnungsverfahren erstellen. Kennzeichnend ist hier die große Variabilität der notwendigen Modelle.
- c. Im Zuge der Quantifizierung stellt sich häufig heraus, daß weitere Informationen benötigt werden. Diese können durch weitere **Gutachten** oder **Vorversuche** beschafft werden. Der Entschluß zu solchen Maßnahmen stellt eine Teilentscheidung der Sanierungsentscheidung dar.
- d. Auf der Basis der nun vorliegenden Daten der Sanierungskonzepte muß eine Entscheidung für ein Sanierungskonzept gefällt werden. Die dabei zu treffenden **Bewertungen**, d.h. Definition des Entscheidungsverhaltens auf der Basis von Konzeptdaten, können zu einem großen Teil nicht aus objektiven Fakten hergeleitet werden, sondern beruhen auf subjektiven, persönlichen Ansichten der Entscheider. Dennoch haben diese Festlegungen Auswirkungen auf die Lebensumstände und den Besitz von Personen, die nicht direkt an der Entscheidung beteiligt sind. Nicht nur derzeit lebende Personen sind betroffen (Anwohner), sondern auch künftige Generationen. Insbesondere die langfristigen Auswirkungen von Sicherungsmaßnahmen sind ein Problempunkt.

⁵ Quantifizierung bedeutet, die numerische Bewertung der Sanierungskonzepte bezüglich der Kriterien.

⁶ Notmaßnahmen zur unmittelbaren Gefahrenabwehr werden nicht betrachtet.

e. An der Sanierungsentscheidung sind in der Regel mehrere Personen beteiligt, die sich **auf ein Sanierungskonzept einigen** müssen. Diese haben zwar ein gemeinsames Grundinteresse am Schutz der Umwelt und an der Optimierung der wirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten unter Minimierung der anfallenden Kosten. Trotzdem existieren Unterschiede zwischen den Personen bei den Sanierungsprioritäten⁷, so daß eine konsensfähige Lösung im Rahmen eines Diskussionsprozesses gefunden werden muß.

Eine einheitliche Sanierungsentscheidung wird durch verschiedene, konsensfördernde Faktoren begünstigt:

- Meistens werden Sanierungsmaßnahmen durch eine Aufteilung der entstehenden Kosten finanziert. Nur wenn ein Konsens über das Verfahren gefunden werden kann, werden auch alle Beteiligten ein gemeinsames Finanzierungsmodell unterstützen. Zudem können durch verschiedene Aufteilung der entstehenden Kosten die Vor- und Nachteile einer Sanierung für die Beteiligten ausgeglichen werden.
- Der Begründungszwang, dem die Entscheider ausgesetzt sind (s. n. Punkt), erzeugt einen Druck in Richtung Konsens. Falls es den Entscheidern gelingt, sich auf ein Sanierungskonzept zu einigen, so lassen sich die an dieser Stelle häufig auftretenden Konflikte leichter bewältigen.
- In der Regel ist keiner der Beteiligten an einer Blockade des Entscheidungsprozesses interessiert, da eine Verzögerung in jedem Fall für alle höhere Schäden verursacht.

f. Nachdem sich die Entscheider auf ein Sanierungskonzept geeinigt haben, muß die getroffene **Entscheidung** gegenüber anderen Personen dargelegt und plausibel **begründet** werden. Insbesondere die Genehmigungsbehörden müssen die Entscheidung für das bevorzugte Sanierungskonzept nachvollziehen können. Erst wenn dies gelingt, kann mit dem eigentlichen Prozeß der Sanierungsplanung und der Sanierung begonnen werden.

2.3. Anforderungen an Methodiken und Hilfsmittel für die Sanierungsentscheidung

Bevor ausgehend von der Charakterisierung des Entscheidungsproblems aus Abschnitt 2.2. Anforderungen an Methodiken und Hilfsmittel definiert werden, sollen zunächst einige Begriffe eingeführt werden.

Eine **Methodik** stellt den eigentlichen Kern des Entscheidungsalgorithmus dar. Sie definiert, wie man von den Eingangsdaten zu den Ergebnissen gelangt. Nach ihr richten sich die Form der Eingangsdaten und die Art der daraus folgenden Ergebnisse. Am Anfang des Kapitels 3. werden drei verschiedene Methodiken kurz vorgestellt und hinsichtlich der Anwendbarkeit diskutiert.

Die Arbeitsumgebung, in die die jeweilige Methodik eingebettet ist, wird als **Hilfsmittel** bezeichnet. Im Kapitel 4. werden zwei verschiedene Grundansätze für Hilfsmittel vorgestellt und diskutiert. Der gewählte Ansatz wird dort inklusive der gewählten Implementationsform erläutert.

⁷ Die verschiedenen Sichtweisen der Personen auf das anstehende Entscheidungsproblem werden im weiteren als **Entscheidungsperspektiven** bezeichnet.

Der Gesamtkomplex von Methodik und Hilfsmittel wird als **Entscheidungsunterstützendes System** (EU-System) bezeichnet.

Aus der Analyse der im Abschnitt 2.2. aufgelisteten Arbeitspunkte und Charakteristika der Sanierungsuntersuchung (a.-f.) können Anforderungen an das einzusetzende EU-System abgeleitet werden:

- i. Die Sanierungsentscheidung zeichnet sich durch variable Entscheidungsgegenstände und Entscheidungskriterien aus (a.). Jede Altlast hat Besonderheiten und ist ein Einzelfall. Das einzusetzende EU-System sollte deshalb ausreichend flexibel gestaltet werden, um sich an verschiedene Entscheidungsgegenstände und -perspektiven anpassen zu können. Trotzdem sollte es Leitlinien für die Bearbeitung setzen und zu einer Strukturierung des Entscheidungsablaufes beitragen.
- ii. Der Umgang mit vielen Informationsdefiziten und unsicheren Daten ist ein unvermeidbarer Bestandteil der Sanierungsentscheidung (b.). Daher ist die explizite Darstellung der Güte der verwendeten Informationen von großer Bedeutung. Es sind sowohl Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Güte der Informationen bei der Quantifizierung als auch Verfahren zur Entscheidung auf der Basis unsicherer Informationen als integraler Bestandteil des EU-Systems vorzusehen (vgl. Punkt vii.).
- iii. Die Sanierungsentscheidung ist grundsätzlich multiattributiv (a.), d.h. es müssen mehrere Kriterien berücksichtigt werden. Bei der Quantifizierung und bei der Bewertung muß dieser Tatsache durch entsprechende Unterstützung Rechnung getragen werden. Weiterhin muß auf eine sorgfältige quantitative Behandlung intangibler Kriterien geachtet werden. Schließlich sollte eine ganzheitliche Problembetrachtung angestrebt werden. Dies bedeutet, daß nicht nur bezüglich eines Aspektes optimiert und entschieden wird, sondern daß stets Kompensationsmöglichkeiten für schlechte Ergebnisse auf einem Kriterium durch gute auf anderen eingeräumt werden. Mit dieser Forderung soll einer eingeschränkten Betrachtungsweise und einer unzulässigen Problemreduktion, die zu Ergebnisverzerrungen führen kann, vorgebeugt werden.
- iv. Zur Quantifizierung der Alternativen (b.) sind umfangreiche Modelle notwendig. Das EU-System sollte daher entweder die Modellerstellung direkt unterstützen oder zumindest die Verwendung von Modellierungsergebnissen gestatten. Dabei sollte es möglich sein, iterativ den Wissensstand über die betrachteten Sanierungsalternativen zu erhöhen (vgl. Punkt vi.). Das EU-System muß auch hier ausreichend flexibel sein, um Informationen verschiedenster Qualität und dynamische Wissensstände darstellen zu können.
- v. Das EU-System muß die Multidisziplinarität bei der Alternativenquantifizierung berücksichtigen (b.). So sollten Möglichkeiten zur Koordinierung von Gutachtern aus verschiedenen Wissenschaftsgebieten angeboten werden. Die Aufteilung der Bearbeitung in verschiedene Arbeitsbereiche sollte möglich sein. Dies gilt nicht nur für die Quantifizierung, sondern insbesondere auch für die Bewertung. Hier sollte die Delegation von Teilen der Bewertung an kompetente Fachleute unterstützt werden.
- vi. Vor der endgültigen Sanierungsentscheidung werden in der Regel verfahrensspezifische Erkundungsmaßnahmen und Vorversuche durchgeführt (c.). Es ist daher wünschenswert, daß das EU-System Entscheidungen über vorbereitende Maßnahmen unterstützt

- vii. Viele Entscheidungen werden wesentlich durch persönliche Ansichten und Risikoeinstellungen der Beteiligten bestimmt (d.). Es steht daher zu erwarten, daß die Berücksichtigung subjektiver Präferenzen der Entscheidungsbeteiligten die Akzeptanz des EU-Systems und insbesondere der aus ihm abgeleiteten Handlungshinweise deutlich erhöht. Deshalb ist es notwendig, bei der Entscheidungsunterstützung subjektive Festlegungen einzubeziehen. Diese sind jedoch explizit als solche zu kennzeichnen, um nicht eine, in Wahrheit nicht vorhandene Objektivität vorzuspiegeln. Zur Plausibilisierung subjektiver Festlegungen erscheint es äußerst hilfreich, wenn auf (Teil-) Konsistenz zu anderen Altlastfällen verwiesen werden kann.
- viii. Der Tatsache, daß es sich um eine Mehrpersonenentscheidung handelt (e.), muß Rechnung getragen werden. Das EU-System sollte zumindest eine Kommunikationsplattform für die beteiligten Personen anbieten. Eine Unterstützung bei Vergleich und Zusammenfassung verschiedener Bewertungsmodelle und bei der Erarbeitung eines Konsensvorschlages wären sehr sinnvoll.
- ix. Die getroffene Entscheidung muß begründet werden (f.). Daher müssen Möglichkeiten zur Inspektion des EU-System und zur Ableitung von Aussagen und Begründungen vorhanden sein. Entscheidungsunterstützung bedeutet nicht in erster Linie die Produktion von Zahlen, sondern die Schaffung von Einsichten in das Entscheidungsproblem.
- x. Weiterhin ist es in diesem Zusammenhang wünschenswert, wenn das EU-System relativ anschaulich und leicht zu erläutern ist, so daß der Entscheidungsgang auch von anderen Personen nachvollzogen werden kann.

Bei der Prüfung oben genannter Anforderungen stößt man auf ein Kernproblem von entscheidungsunterstützenden Systemen. Die Forderungen i.-v. zielen auf eine adäquate Modellierung des Entscheidungsproblems ab. Leider sind darauf ausgerichtete Modelle für Sanierungsentscheidungen so komplex, daß Forderung x. nach einem leicht erläuterbaren Entscheidungsschema dazu im Widerspruch steht. Für dieses Problem muß eine Lösung gefunden werden.

Wenn man Anforderungen an entscheidungsunterstützende Systeme definiert, muß man grundsätzliche Grenzen solcher Systeme beachten. Einmal ist ganz wichtig zu betonen, daß die Sanierungsentscheidung durch unterstützende Systeme nicht vollständig objektiviert werden kann. Subjektive Einschätzungen können offengelegt und plausibel gemacht werden. Es ist jedoch nicht möglich, diese komplett durch nicht angreifbare Argumente zu ersetzen. Der Forderung nach einem System, das die objektiv beste Lösung liefert, ist prinzipiell nicht erfüllbar. EU-Systeme können die Entscheidung nur unterstützen, sie den Verantwortlichen jedoch nicht abnehmen. Des weiteren muß beachtet werden, daß mit jeglichem System stets nur eine Handlungsempfehlung auf der Basis der vorhandenen Datenlage erarbeitet werden kann. Auch bestens durchdachte Entscheidungen können durch unbekannte und daher nicht berücksichtgbare Tatsachen zu sehr schlechten Resultaten führen. Es gibt keine Möglichkeit dies auszuschließen. Dies bedeutet, daß der Einsatz von EU-Systemen keine Garantie für ein gutes Entscheidungsergebnis gibt.

3. Einführung in die Entscheidungsanalyse

Die Entscheidungsanalyse stellt eine von vielen existierenden Methodiken zur Unterstützung von Entscheidungen dar /Zimmermann-91/. Um eine bessere Einordnung zu ermöglichen, sollen im folgenden die beiden wichtigsten Alternativen, die Methode der Anspruchsniveaus und die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), kurz vorgestellt werden. Es wird begründet, warum diese für die spezifischen Probleme der Sanierungsentscheidung weniger geeignet erscheinen.

Die **Methode der Anspruchsniveaus** /Tietz-83/ basiert auf einer Reduktion der Zahl der zu betrachtenden Handlungsalternativen durch die Definition von zu erreichenden bzw. wünschenswerten Ergebnissen (z.B. Kosten < 15 MDM, mögliche Nutzung innerhalb von 5 Jahren, Reduktion der Schadstoffemissionen auf unter 1 kg/a). Durch die Verschärfung der Anspruchsniveaus oder durch die Definition neuer Zielsetzungen können iterativ Handlungsalternativen ausgeschlossen werden.

Die Stärken dieser Methode ergeben sich u.a. bei Entscheidungsproblemen, bei denen die Zahl vorhandener Handlungsalternativen sehr groß ist (z.B. Entscheidung für ein Ferienziel oder Kauf eines Gebrauchtwagens), bei denen die Handlungsalternativen nicht vorgegeben sind, sondern im Prozeß der Entscheidung erst erstellt werden müssen (z.B. Hausbau mit verschiedenen Ausstattungsmerkmalen) oder falls sich die Zahl und Art der Zielsetzungen stark im Laufe des Entscheidungsprozesses ändern (z.B. bei der Einarbeitung in einen neuen Entscheidungskontext). Als Vorteile sind zu nennen, daß sich diese Vorgehensweise gut an beobachtete Verhaltensmuster von Entscheidern anpaßt, daher leicht verständlich und nachvollziehbar ist und damit eine gute Akzeptanz verspricht. Weiterhin wird das diffizile Problem der Gewichtung von Kriterien unterschiedlicher Dimension, das bei der KNA und der EA auftritt, vermieden.

Problematisch ist diese Methodik insbesondere bei Entscheidungsproblemen, bei denen Kompensationseffekte zwischen den Einzelkriterien (Trade-Offs) wichtig sind⁹. Sehr viele Sanierungsentscheidungen sind jedoch von diesem Typ. Deshalb erscheint dieser Nachteil als ein entscheidendes Argument gegen den Einsatz der Methode der Anspruchsniveaus im Altlastenbereich. Probleme treten weiterhin auf, wenn Unsicherheiten in den Ergebnissen für die Entscheidung relevant sind¹⁰. Ein mehr organisatorisches Problem ist die Tatsache, daß sich die Höhe der Anspruchsniveaus häufig an den zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen orientiert. Es besteht in diesem Fall die Gefahr, daß die Entscheider den Entscheidungsvorgang umdrehen, d.h. zuerst eine präferierte Handlungsalternative auswählen und danach zu ihrer Begründung die Anspruchsniveaus entsprechend ausrichten. Dieses Problem wird bei der KNA und der EA zumindest abgemildert.

⁹ Beispiele: Wahl zwischen einem preiswerten Sanierungsverfahren (z.B. Abdeckung) mit niederwertiger Nachnutzung (Parkplatz) und einem teuren (Umlagerung) mit hochwertiger Nachnutzung (Spielplatz). Wahl zwischen einem teuren Verfahren (Sicherung) mit der Möglichkeit des Deponieweiterbetriebs und einem preiswerten (Nullvariante) mit sofortigem Deponieabschluß (s. Kapitel 5.).

¹⁰ Beispiel: Wahl zwischen einem teuren, erprobten Verfahren und einem neuen, möglicherweise preiswerten Verfahren.

Heutige Systeme zur Entscheidungsunterstützung basieren in der Mehrzahl auf der **Kosten-Nutzen-Analyse** (KNA). Die zu verwendenden Kriterien werden in monetäre und nicht-monetäre Aspekte getrennt. Der monetäre Aspekt wird i.d.R. durch ein einziges Kriterium, die Kosten ausgedrückt¹¹. Die restlichen Kriterien werden durch eine gewichtete Addition¹² zu einem nicht-monetären Bewertungsindex zusammengefaßt (s. Tabelle 1.). Damit eine derartige Subsummierung sinnvoll ist, müssen alle Kriterien durch gleiche Einheiten gemessen werden. Dafür werden vielfach normierte Punkteskalen verwendet (10 Punkte = bestes Ergebnis, 0 Punkte = Schlechtestes Ergebnis).

↓Kriterien	Konzepte ⇒	Gewicht k_i	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3
Gefährdungspotential [Punkte]		40	268	189	138
Verfügbarkeit [Punkte]		25	165	200	90
Umweltauswirkungen [Punkte]		25	136	189	200
Sicherheit [Punkte]		10	40	80	70
Summe u_{ges}	[Punkte]	100	609	658	498

Tabelle 1. Vereinfachtes Beispiel zur Berechnung der nicht-monetären Bewertung im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse anhand der Entscheidung zwischen verschiedenen Sanierungskonzepten /Neteler-95/.

Die Kosten und der nicht-monetäre Nutzen werden für alle Alternativen in einem xy-Diagramm dargestellt (s. Abbildung 4.). Aus diesem Diagramm können die dominierten Alternativen (in Abbildung 4. Alternative D mit höheren Kosten und weniger nicht-monetären Punkten als B) erkannt werden. In der Regel ist dies dann das Endergebnis, die Kosten und die nicht-monetären Kriterien werden nicht zu einem Gesamtindikator zusammengefaßt.

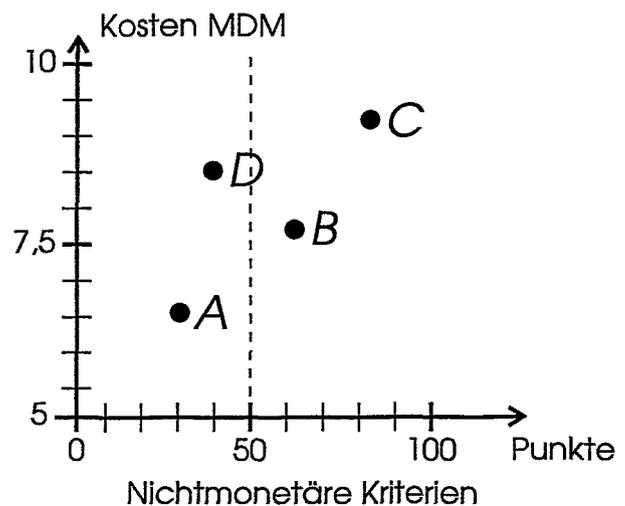


Abbildung 4. Gegenüberstellung der nichtmonetären Kriterien mit den Kosten

Zur Bewertung der KNA ist anzumerken, daß sie, wenn auch historisch anders entstanden, eine Spezialisierung der Entscheidungsanalyse darstellt. Damit treffen viele Vor- und Nachteile der EA,

die im Zuge dieser Arbeit detailliert dargestellt werden, analog auch für die KNA zu. Die durch die KNA getroffenen Annahmen, die zu der Spezialisierung führen, können schrittweise fallengelassen werden, so daß ein Übergang zur EA denkbar ist. Die folgende Diskussion bezieht sich deshalb auf die, durch die derzeitig vorherrschende Anwendungsform der KNA verwendeten Annahmen und die daraus resultierenden Nachteile.

¹¹ Es ist möglich, die leicht monetarisierbaren Kriterien (z.B. Einnahmen durch Deponienutzung, Verkaufswert der sanierten Fläche) durch Bilanzierung mit den Kosten zusammenzufassen. Auch laufende Kosten (z.B. Wasserhaltung, Monitoring) können durch Diskontierung auf einen Barwert umgerechnet werden /LAWA-79/.

¹² $u_{ges}^k = \sum_{i=1}^N k_i \cdot x_i^k$, N Kriterien, u_{ges}^k Gesamtnutzen der Alternative k, k_i Gewicht des Kriteriums i, x_i^k Bewertung der Alternative k bzgl. des Kriteriums i

Durch den Verzicht auf eine explizite Berücksichtigung der Informationsgüte (etwa in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen) gehen viele, für die Entscheidung wichtige Informationen verloren (s. Fußnote 10.). Teilweise wurde versucht, diesem Manko durch die Einführung zusätzlicher nicht-monetärer Kriterien (z.B. "Kosten-Risiken" /Zarth-93/ oder "Risiko der Mengenänderung" /Gehrke-93/) zu begegnen. Dies stellt jedoch kaum einen adäquaten, quantitativen Umgang mit Informationsunsicherheiten und Risiken dar.

Das Endergebnis der KNA, die zweidimensionalen Ergebnispunkte, kann in einigen Fällen zu einer Gesamtlösung führen. Dies ist z.B. der Fall, wenn das preiswerteste Sanierungskonzept gleichzeitig das nach nicht-monetären Kriterien optimale Konzept ist (s. /Neteler-95/, Anhang C, S. 30). In der Altlastenpraxis dürfte jedoch viel häufiger der Fall anzutreffen sein, daß zwischen Kosten und nicht-monetärem Bewertungsindex eine positive Korrelation zu verzeichnen ist (s. Abbildung 4.). In diesem Fall können lediglich Verhältnismäßigkeitsüberlegungen zu einer Problemlösung führen, die den unbequemen Vergleich monetärer Größen mit nicht-monetären voraussetzen. Die wirkungsvolle Unterstützung dieses wichtigen Schrittes zeichnet die EA gegenüber der heutzutage verwendeten Anwendungsform der KNA aus.

3.1. Ursprünge der Entscheidungsanalyse

Die Entscheidungsanalyse (EA) /Eisenführ-93/ beruht auf einem axiomatischen System, das in den 40-er Jahren von den Mathematikern von Neumann und Morgenstern entwickelt wurde /von Neumann-1947/. Es beschreibt, wie sich ein Entscheidungsträger bei Entscheidungsproblemen mit unsicheren Ergebnissen verhalten sollte, falls er sich gemäß bestimmter Axiome (s. 3.2.) verhalten möchte. In den 70-er Jahren wurde die EA von Keeney, Raiffa und Fishburn (u.a.) auf Entscheidungen mit mehreren, konkurrierenden Zielsetzungen erweitert /Keeney-93/. Seitdem ist diese entscheidungsunterstützende Methodik auf viele Probleme im Energie-, Militär-, Forschungs-, Medizin- und Wirtschaftsbereich angewandt worden /Corner-91/.

Obwohl die Axiome durchaus einsichtig sind, und demnach das daraus resultierende Entscheidungsverhalten als rational bezeichnet werden kann, wurden in Untersuchungen realer Entscheidungssituationen systematische Abweichungen der Entscheidungen befragter Personen von den gemäß den Axiomen zu empfehlenden Handlungsoptionen festgestellt /Tversky-74, Tversky-81, Camerer-92/. Dies ist der Ansatzpunkt der deskriptiven Entscheidungstheorie, die das reale Verhalten von Personen in einfachen Entscheidungssituationen untersucht, um daraus allgemeine Strukturen des menschlichen Entscheidungsverhaltens abzuleiten. Anhand dieser Strukturen sollen dann Entscheidungen in komplexen Situationen unterstützt werden. Das Hauptargument für diese deskriptive Herangehensweise ist, daß derartige Schemata aufgrund der Nähe zu praktizierten Verhaltensweisen eine gute Akzeptanz finden werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Auswahl einer entscheidungsunterstützenden Methodik ist die Frage, inwieweit die Methodik Leitlinien zur Bearbeitung des Entscheidungsproblems bereitstellt (s. 2.3.-i.). Bei der Anwendung deskriptiver Verfahren tritt das Problem auf, daß diese das generelle Ziel haben, das Entscheidungsverhalten widerzuspiegeln und deshalb a-priori nur wenige Leitlinien zur Verfügung stellen. Weiterhin können bei verschiedenen Personen prinzipiell unterschiedliche Verhaltensweisen auftreten, so daß die daraus entste-

henden Systeme nicht kompatibel sind und daher auch nicht für eine Konsensfindung verwendet werden können. Schließlich sind zur Erstellung deskriptiver Systeme existierende, gefestigte Entscheidungsstrukturen notwendig. Diese sind zum großen Teil bei der Altlastensanierung jedoch noch nicht vorhanden.

Ein anderer Ansatz, der gerade in den letzten Jahren verstärkt untersucht wurde /Fishburn-88/, geht dahin, die Axiome, die der EA zugrunde liegen, zu verallgemeinern, um so das Modell noch flexibler an die festgestellten Entscheidungsstrukturen anpassen zu können. Dieser Ansatz wird im weiteren nicht verfolgt, da die daraus resultierenden Modelle methodisch noch nicht genügend entwickelt sind, um sie auf komplexe Probleme anwenden zu können. Des weiteren stellt er noch höhere Anforderungen an die Anwender als die EA.

3.2. Grundlagen der Entscheidungsanalyse

Die Entscheidungsanalyse setzt die Konformität der Präferenzstrukturen der Entscheider mit den im folgenden aufgezählten Axiomen voraus. Das Ergebnis der EA-Anwendung gibt vor, wie eine Person, die diesen Axiomen zustimmt, sich bei Entscheidungen unter Unsicherheit verhalten sollte.

Um die Axiome formalisieren zu können, werden zunächst einige wichtige Grundbegriffe der EA definiert¹³:

a) Alternativen: $A = \{ A_k ; k=1, \dots, K \}$

Die Menge der Alternativen kennzeichnet die möglichen Entscheidungen, die der Entscheider zur Lösung seines Problems treffen kann. Welche Techniken es zur Alternativen-generierung gibt ist in Abschnitt 3.4. beschrieben.

b) Kriterien und Attribute¹⁴:

Die Kriterien $X_i ; i=1, \dots, N$ stellen entscheidungsrelevante Informationen über Endergebnisse oder Endzustände dar (z.B. Gesamtkosten, Flächenverkehrswerte). Wie diese zu ermitteln und zu strukturieren sind und welchen Anforderungen die Kriterienliste und die Kriterien genügen müssen, ist in Abschnitt 3.5. dargelegt. Kriterien werden im Rahmen der EA auch als "Werte" bezeichnet¹⁵, die hierarchisch strukturierte Kriterienliste als "Wertbaum" und die Erstellung von Wertbäumen als "Wertbaumanalyse" /Keeney-84/.

Ein konkretes Ergebnis auf dem Kriterium i wird mit x_i bezeichnet. Die Menge aller möglichen Gesamtergebnisse ist durch den Produktraum $X = X_1 \times \dots \times X_N$ festgelegt. Ein spezielles Gesamtergebnis aus X wird durch $x = (x_1, \dots, x_N)$ dargestellt.

Die Maßstäbe, in denen die Zielerfüllung der Kriterien gemessen wird, werden im Rahmen der EA als Attribute bezeichnet. Abschnitt 3.6. beschreibt, welche Probleme bei der Definition geeigneter Attribute auftreten und welche Möglichkeiten es zur Quantifizierung schwer erfassbarer Kriterien gibt.

¹³ Die Notation ist entnommen aus: /Keeney-88, p. 149-157/ und aus /von Winterfeldt-86, p. 321/

¹⁴ Die hier angegebene Definition ist angelehnt an: /Keeney-93, p. 32-34/. Auf die dort verwendete Bezeichnung der Präferenzrichtung ("Minimierung der Gesamtkosten") wird hier verzichtet. Aufgrund der eindeutigen Zuordnung von Attributen zu Kriterien dürfte die Verwendung von X_i als Kriterienbezeichner und nicht wie in /Keeney-93/ als Attributbezeichner nicht zu Verwechslungen führen.

¹⁵ Der Begriff 'Wert' ist von vielen anderen Fachbereichen mit einer anderen Bedeutung belegt, so daß dessen Verwendung häufig zu Mißverständnissen führt und vermieden werden sollte.

Für die Anwendung der EA ist der Begriff **Randbedingung** sehr wichtig. Randbedingungen definieren Anforderungen, denen alle Sanierungsalternativen genügen müssen (für Sanierungsentscheidungen z.B. Umweltgrenzwerte, Arbeitsschutzanforderungen oder Nutzungszwänge). Kriterien sind hingegen zu optimieren. **Einflußgrößen** sind Informationen, die zur Berechnung der Ergebnisse der Alternativen auf den Kriterien verwendet werden (z.B. Teilkosten, Altlastvolumen). Diese sind jedoch nicht direkt entscheidungsrelevant. Verwechslungen dieser drei Begriffe sind sehr häufig.

c) Lotterien: $p = [p_1: x_1, \dots, p_M: x_M]$

Obiger Ausdruck beschreibt eine Lotterie. Er bedeutet, mit der Wahrscheinlichkeit¹⁶ p_m wird das Gesamtergebnis x_m eintreten. Ein sicheres Ergebnis x_m wird durch $[x_m]$ bezeichnet. Lotterien charakterisieren Zustände, wo das Endergebnis einer Alternative noch nicht vollständig bekannt ist und daher nur die Wahrscheinlichkeiten von möglichen Ergebnissen angegeben werden können. Damit ermöglichen Lotterien eine übersichtliche Darstellung von unsicherem Wissen. Eine graphische Darstellung der Lotterie $p = [0.1: 4 \text{ MDM}, 0.6: 6 \text{ MDM}, 0.3: 8 \text{ MDM}]$ zeigt Abbildung 5.

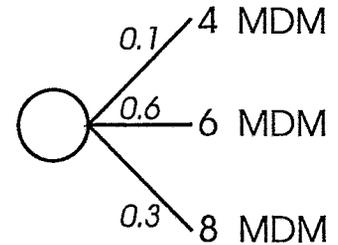


Abbildung 5. Lotterie über das Kriterium 'Kosten'

Die Menge aller Lotterien über dem Gesamtergebnisraum X wird mit $P(X)$ bezeichnet. Die Notation für Lotterien über Lotterien ist: $[p: p, q: q, r: r], p, q, r \in P$

Der Erwartungswert einer Lotterie $\bar{x}(p)$ ist definiert durch: $\bar{x}(p) = \sum_{m=1, M} p_m \cdot x_m$

Der Entscheider definiert anhand von einfachen Lotterien seine Präferenzstruktur und sein Risikoverhalten. Steht er vor der Situation zwischen zwei Lotterien p und q wählen zu müssen, so bedeutet $p \prec q$, daß die Lotterie q gegenüber p bevorzugt wird. Indifferenz zwischen zwei Lotterien wird durch $p \approx q$ (p äquivalent zu q) ausgedrückt.

Wie durch Lotterien über eine einelementige Kriterienmenge die Präferenzordnung eines Entscheiders in eindimensionale Nutzenfunktionen abgebildet wird, ist im Abschnitt 3.8. dargelegt.

Im folgenden werden Axiome angegeben, die die Präferenzstruktur, die ein Entscheider für Lotterien haben kann, einschränken. Diese Einschränkungen sind notwendig und hinreichend für die Existenz einer Gesamtnutzenfunktion /von Winterfeldt-86, pp. 322/.

Axiom 1: Vergleichbarkeit. Alle Lotterien in P sind miteinander vergleichbar

$$\forall p, q \in P: p \prec q \vee p \succ q \vee p \approx q$$

Diese allgemeine Formulierung beinhaltet folgende Teilforderungen:

- Auf dem Ergebnisraum jedes Kriteriums kann eine Präferenzordnung definiert werden.
- Es können auch vektorwertige Ergebnisse ($x \in X$) miteinander verglichen werden.
- Der Entscheider kann seine Präferenzen auch bei unsicheren Ergebnissen ausdrücken.

Axiom 2: Transitivität. Die Präferenzrelation ist transitiv.

$$\forall p, q, r \in P: p \prec q \wedge q \prec r \Rightarrow p \prec r$$

Dies bedeutet insbesondere, daß keine zyklischen Präferenzen ($p \prec q \wedge q \prec r \wedge r \prec p$) existieren.

¹⁶ Eine Diskussion der im Rahmen der EA verwendbaren Wahrscheinlichkeitsbegriffe ist im Abschnitt 3.7. zu finden.

Axiom 3: Substituierbarkeit: Falls eine Lotterie p zu einer anderen Lotterie q (incl. sicheres Ergebnis) äquivalent ist, kann p in allen Entscheidungsproblemen durch q ersetzt werden, ohne daß das Bewertungsergebnis sich ändert.

$$\forall p, q, r \in P, p \in [0, 1]: p \approx q \Leftrightarrow [p:p, (1-p):r] \approx [p:q, (1-p):r]$$

Dieses ist das wichtigste (und umstrittenste, weil es eine lineare Wahrscheinlichkeitswahrnehmung voraussetzt /Machina-82/) Axiom der EA. Es wird insbesondere in Verbindung mit Axiom 4. zur Vereinfachung von Entscheidungsproblemen verwendet.

Axiom 4: Vereinfachbarkeit. Der Ergebnisraum weist keine Lücken auf.

$$\forall p \in P: \exists \hat{x} \in X: p \approx [\hat{x}]$$

Für jede Lotterie p existiert ein sicheres Ergebnis \hat{x} , das zu ihr indifferent ist. Dieses Ergebnis $\hat{x}(p)$ wird als das Sicherheitsäquivalent der Lotterie p bezeichnet.

Axiom 5: Regularität. Der Ergebnisraum enthält keine Singularitäten.

$$\forall p, q, r \in P, p \prec q \prec r: \exists p', p' \in [0, 1]: q \prec [p:p, (1-p):r] \wedge q \succ [p':p, (1-p'):r]$$

Dies bedeutet, daß im Ergebnisraum keine Ergebnisse existieren, die unabhängig von ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten die Wahl der Alternative bestimmen¹⁷. Existieren solche Ergebnisse, so müssen alle Alternativen, die mit einer endlichen Wahrscheinlichkeit zu diesen Ergebnissen führen, aussortiert werden.

Folgerungen:

I. Die Axiome 1 bis 5 garantieren die Existenz einer Funktion, der sogenannten Nutzenfunktion $u: X \rightarrow \mathfrak{R}$, die jedem Gesamtergebnis eine reellwertige Zahl zuordnet.

II. Für die Lotterie p wird durch sie der sogenannte Nutzenerwartungswert definiert durch:

$$\bar{u}(p) = \sum_{m=1, M} p_m \cdot u(x_m) \text{ bzw. } \bar{u}(p) = \int dx \cdot p(x) \cdot u(x)$$

III. Die Nutzenfunktion hat die Eigenschaft, daß die Präferenzrelation für Lotterien durch den Nutzenerwartungswert der Lotterien korrekt wiedergegeben wird:

$$\forall p, q \in P: p \preceq q \Leftrightarrow \bar{u}(p) \leq \bar{u}(q)$$

IV. Zusätzlich gilt, daß die Nutzenfunktion u bis auf eine positive, lineare Transformation eindeutig bestimmt ist.

Dies bedeutet, falls die Präferenzstruktur eines Entscheiders den oben genannten Axiomen genügt bzw. falls er bereit ist, seine Präferenzstruktur so anzupassen, daß die Axiome erfüllt sind, so sollte er die Handlungsalternative auswählen, die den maximalen Nutzenerwartungswert hat.

Die Anwendung von (eindimensionalen) Nutzenfunktionen für Entscheidungen mit einem Kriterium wird im Abschnitt 3.8. dargestellt. Die Thematik von Nutzenfunktion für Entscheidungen mit mehreren, relevanten Kriterien wird im Abschnitt 3.9. behandelt.

¹⁷ Beispiel: Falls als Randbedingung festgelegt wurde, daß die Kosten grundsätzlich nicht über 100 MDM liegen dürfen, so sind alle Alternativen, die unter ungünstigen Umständen zu Kosten über 100 MDM führen können, zu streichen.

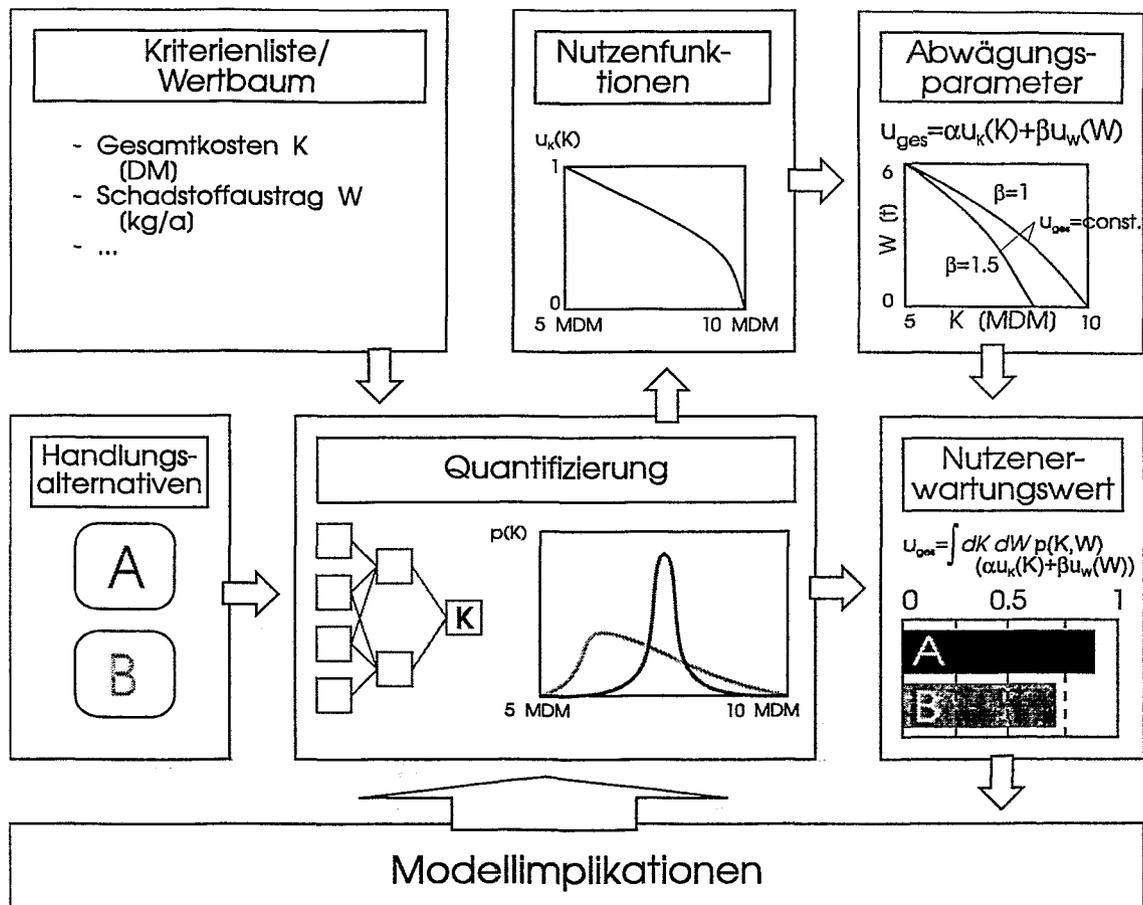


Abbildung 6. Arbeitsschritte bei der Anwendung der Entscheidungsanalyse

3.3. Strukturierung des Entscheidungsprozesses

Die Entscheidungsanalyse liefert Methoden zur Strukturierung des Entscheidungsprozesses. Das allgemeine Flußdiagramm ist in Abbildung 6. dargestellt¹⁸.

Die notwendigen Informationen bzw. Aktionen lassen sich in zwei Teile gliedern:

- Die alternativenunabhängigen Informationen (Abbildung 6., obere Arbeitsschritte) beschreiben die entscheidungsrelevanten Kriterien mit den dazugehörigen Attributen (Abschnitte 3.5. und 3.6.), das Risikoverhalten dargestellt durch eindimensionale Nutzenfunktionen (Abschnitt 3.8.) und die Aggregationsmethode dieser Nutzenfunktionen zu einer Gesamtnutzenfunktion (Abschnitte 3.9. und 3.10.)
- Die alternativenspezifischen Daten (Abbildung 6., mittlere Arbeitsschritte) bestehen aus der Menge der möglichen Handlungsalternativen (Abschnitt 3.4.) und der Quantifizierung der vorgegebenen Kriterien (Abschnitt 3.7.). Damit wird der Nutzenerwartungswert jeder Alternative berechnet (Abschnitt 3.11.).

Die so gewonnene Reihenfolge der Alternativen kann durch spezielle Methoden näher untersucht (Abbildung 6., unterer Arbeitsschritt) und damit Modellimplikationen abgeleitet werden.

¹⁸ angelehnt an /Keeney-82/

3.4. Generierung von Handlungsalternativen

Der Generierung von sinnvollen Handlungsalternativen kommt eine große Bedeutung bei der Problemlösung zu. Die Qualität der Entscheidung hängt essentiell davon ab, wie sorgfältig die Suche nach Handlungsalternativen erfolgt ist. Anfangs sollte versucht werden, möglichst viele, auch unkonventionelle Lösungen in Betracht zu ziehen. Es gibt verschiedene Ansätze, um die Kreativität bei der Alternativengenerierung zu stimulieren /Keller-88/¹⁹:

- Kriterienbasierte Ansätze:
Es wird versucht, die Ergebnisse auf den Kriterien zu verbessern. Durch Kombination der Handlungsansätze für verschiedene Kriterien können so viele, zusammengesetzte Varianten entstehen.
- Zustandsbasierte Ansätze:
Es wird ein realer oder hypothetischer Zustand betrachtet. Für negativ zu bewertende Zustände werden Optionen zur Verbesserung, für positive Zustände werden Möglichkeiten zur Annäherung erzeugt.
- Alternativenbasierte Ansätze:
Es werden existierende Alternativen betrachtet und Möglichkeiten der Verbesserung oder Modifikation gesucht.
- Psychologische Ansätze:
In diese Gruppe von Techniken gehören Ansätze wie Brain-Storming, die auf allgemeine Stimulation der Kreativität abzielen.

Eine Stärke der entscheidungstheoretischen Methodik ist, daß nicht nur einstufige Entscheidungsprobleme unterstützt werden, sondern auch sequentielle (mit Handlungsalternativen die eine spätere Entscheidung beinhalten). Dies bedeutet, daß auch komplexe Szenarien evaluierbar sind. Ein Beispiel für ein solches Szenarium ist in Abschnitt 4.3. erläutert.

3.5. Aufstellung einer Kriterienliste

Bei der Entscheidung über das durchzuführende Sanierungskonzept sind viele verschiedene Kriterien zu berücksichtigen. Diese zu strukturieren ist die Aufgabe der Wertbaumanalyse /Keeney-84/. Die Kriterien müssen folgenden Anforderungen genügen:

- Die Ergebnisse der Handlungsalternativen auf den Kriterien müssen **entscheidungsrelevant** sein. Dies beinhaltet die Teilforderungen, daß die Ergebnisse für den Entscheider klar verständlich sind und er eine Präferenzstruktur für die Ergebnisse hat. Diese Bedingung wird insbesondere von den Informationen, die zur Berechnung der Ergebnisse auf den Kriterien notwendig sind, (Einflußgrößen) nicht erfüllt. So ist z.B. der k_f -Wert (Durchlässigkeitsbeiwert) des Untergrundes eine wichtige Einflußgröße bei der Bewertung von Sanierungsverfahren, jedoch besitzt der Entscheider keine Präferenzstruktur über den k_f -Wert.

¹⁹ Hier werden nur die Ansätze aufgelistet, die für den Altlastensektor als praxistauglich eingeschätzt werden. Andere Ansätze sind zu finden in: /Keeney-95/. Generell gilt, daß die Generierung und Strukturierung von Handlungsalternativen im Rahmen der EA bisher kaum untersucht worden ist.

- Die Kriterien müssen **für alle Handlungsalternativen anwendbar** sein. Das Kriterium 'Chemische Beständigkeit' kann das Langzeitverhalten von Sicherungselementen charakterisieren, ist jedoch für die Handlungsalternative 'Umlagerung' nicht anwendbar. Hier ist ein Übergang zu übergeordneten Gesichtspunkten (z.B. 'Dauerhaftigkeit der Sanierung') notwendig.
- Die Kriterien müssen **quantitativ erfassbar** sein, was die Definition von Attributen und die Quantifizierbarkeit der Handlungsalternativen einschließt.
- Schließlich ist es notwendig, daß die Kriterien gegenüber Dritten **vertretbar** sind. Insbesondere Konflikte mit gültigem Recht sind zu vermeiden. Z.B. muß bei dem Kriterium 'Steigerung der Flächenverkehrswerte' geprüft werden, inwieweit der Sanierungsverantwortliche zu einer Sanierungsmaßnahme gezwungen werden kann, deren Nutznießer Dritte (Anwohner) sind.

Die Menge aller Kriterien wird **Kriterienliste** genannt. Wird diese baumartig strukturiert, indem sinnverwandte Kriterien unter einem Oberbegriff zusammengefaßt werden, entsteht ein **Wertbaum**.

Bei der Erstellung von Kriterienlisten kann man entweder von einer umfangreichen, allgemeinen Liste ausgehen und die relevanten Kriterien auswählen oder es erfolgt eine fallspezifische Erstellung²⁰. Die Kriterienliste sollte folgenden Anforderungen genügen:

a. **Vollständigkeit:**

Die Gesamtheit der Kriterien beschreibt sämtliche bewertungsrelevanten Aspekte. Dies impliziert gleichzeitig, daß die Kriterien ihre jeweiligen Oberbegriffe vollständig beschreiben.

b. **Redundanzfreiheit:**

Alle Kriterien müssen verschiedene Bedeutungsinhalte haben. Ein Bewertungsaspekt darf somit nicht durch mehrere Kriterien gleichzeitig erfaßt werden. Ein typischer Fehler, der zu Redundanzen führt, ist die Vermischung von Ursache und Wirkung. So kann z.B. in vielen Fällen das Kriterium 'Verkehrsaufkommen' durch die Bewertung auf den Kriterien 'Belästigungen der Anwohner' und 'Schadstoffemissionen' ersetzt werden²¹.

c. **Minimalität:**

Die Anzahl der betrachteten Kriterien sollte überschaubar sein. Offensichtlich irrelevante Kriterien oder Kriterien, bezüglich derer sich die Sanierungsvarianten nicht unterscheiden, sollten aus der Kriterienliste entfernt werden. Desgleichen sind Kriterien, die trivial summierbar sind ('Kosten für Material', 'Kosten für Treibstoff') zusammenzufassen.

d. **Strukturierbarkeit:**

Die Anordnung der Kriterien in einer Baumstruktur erleichtert die weitere Bearbeitung wesentlich und sollte deshalb angestrebt werden. So könnte der Entscheider nur die Grobstruktur des Wertbaumes mit den relativ abstrakten Kriterien festlegen, und die Feinspezifikation sowie die Definition von Attributen (s. n. Abschnitt) externen, kompetenten Stellen überlassen. Gerade der Top-Down-Ansatz (s.u.) unterstützt diese Vorgehensweise.

²⁰ Diese beiden unterschiedliche Ansätze korrespondierenden mit einer wissensbasierten bzw. mit einem modellorientierten Vorgehensweise (vgl. 4.1. und 4.2.)

²¹ Diese beiden Kriterien sind zwar nicht statistisch unabhängig, da eine Schadstoffemission zu einer Belästigung von Anwohner führen kann, jedoch werden mit ihnen zwei unterschiedliche Zielstellungen 'Schutz der Anwohner' und 'Schutz der Umwelt' verfolgt, die unabhängig voneinander relevant sind.

Man unterscheidet zwei Ansätze zur Erzeugung eines Wertbaumes /von Winterfeldt-86, pp. 38/. Diese werden häufig kombiniert verwendet.

- Beim sogenannten Top-Down-Ansatz geht man von einer Liste allgemeiner Kriterien aus. Diese werden dann sukzessive in Teilaspekte untergliedert, bis eine weitere Untergliederung nicht mehr sinnvoll erscheint und die sich ergebenden Blätter des Wertbaumes sich gut durch Attribute erfassen lassen.
- Der Bottom-Up-Ansatz geht von einer Liste sehr spezieller Kriterien, Indikatoren und Charakteristika der einzelnen Varianten aus. Diese Liste sollte möglichst alle Aspekte des Entscheidungsproblems erfassen. Im nächsten Schritt werden dann gleichartige Kriterien unter einem Oberbegriff zusammengefaßt. Dieses Verfahren wird iterativ durchgeführt, bis sich eine Baumstruktur bildet.

3.6. Definition von Attributen

Nach der Festlegung entscheidungsrelevanter Kriterien müssen Quantifizierungsmöglichkeiten definiert werden. Häufig entscheidet sich an diesem Punkt, wie anwendbar die gewählten Kriterien sind. Diese Meßmöglichkeiten oder Attribute sollten mehreren Anforderungen genügen:

- i) wohldefiniert:
Ein Attribut ist dann wohldefiniert, wenn es im Prinzip möglich ist, den exakten Zahlenwert für alle Alternativen zu bestimmen. Dies bedeutet, das Attribut muß die Bedeutung der Zahlenwerte präzise definieren. So ist z.B. für das Kriterium 'Belastung von Oberflächengewässern' das Attribut 'Schadstoffkonzentration in mg/l' nicht wohldefiniert, da weder Ort und Zeitpunkt der Messung angegeben wird noch welcher Schadstoff zu messen ist.
- ii) vorstellbar:
Mit der Angabe des Zahlenwertes muß der Entscheider eine klare Vorstellung darüber haben, wie gut dieses Ergebnis auf dem entsprechenden Kriterium zu bewerten ist. Dies ist eine Voraussetzung für die quantitative Erfassung der Präferenzstruktur des Entscheiders durch Nutzenfunktionen.
- iii) erfaßbar:
Das Attribut muß bestimmbar sein, d.h. es müssen sich für alle Alternativen Wahrscheinlichkeitsverteilungen über die Zahlenwerte des Attributs angeben lassen (s. Abschnitt 3.7.). Diese Quantifizierung darf jedoch nicht mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden sein.

Die Definition eines geeigneten Attributes bereitet häufig große Schwierigkeiten, da für viele Kriterien keine natürliche Meßskala existiert (intangible Kriterien, z.B. Landschaftsbild) oder die notwendigen Informationen sich nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand bestimmen lassen. Im folgenden ist eine Liste von Attributformen angegeben, die zur Lösung dieser Probleme verwendet werden können:

- i) einfache und zusammengesetzte Attribute:
Einige Kriterien implizieren eine Meßskala oder lassen sich durch eine Formel gut erfassen.
Bsp.: Gesamtkosten \Rightarrow DM
Radiologische Belastung \Rightarrow Personenzahl [man] · Dosisleistung [mSv/a]
- ii) verbale Skalen:
Falls eine verbale Beschreibung eine gute Vorstellung über die Ergebnisse eines Kriteriums vermittelt, so lassen sich anhand dieser Beschreibungen Skalen aufbauen. Diese können entweder in eine numerische Punkteskala abgebildet werden, oder aber es können direkt eindimensionale Nutzenfunktion über die subjektiven Skalen definiert werden (s. Abschnitt 3.8.). Von abstrakten Punkteskalen wird insbesondere bei den derzeit verfügbaren, KNA-basierten EU-Systemen (s. Referenzen aus 4.1.), die fast ausschließlich abstrakte Kriterien enthalten, ausgiebig Gebrauch gemacht.
Bsp.: Belästigungen durch Geruchsstoffe
(nicht spürbar: 0 Punkte, sehr starker, unangenehmer Geruch: 10 Punkte)
- iii) Stellvertreterattribute:
Ist ein Kriterium auch nicht direkt meßbar, so können doch Indikatoren existieren, die das Ergebnis indirekt anzeigen. Diese können dann zur Quantifizierung benutzt werden. Ein häufig benutztes Stellvertreterattribut ist die Zahlungsbereitschaft ('willingness-to-pay'), die angibt, wieviel eine Person zahlen würde, um bestimmte Effekte zu bewirken.
Bsp.: Belästigung der Bevölkerung
 \Rightarrow Durchschnittliche Zahlungsbereitschaft der Anwohner zur Vermeidung der Belästigungen [DM].
- iv) relative Bewertung:
Falls die Schaffung einer absoluten Bewertungsskala Schwierigkeiten bereitet, so können doch häufig Aussagen über den Zielerfüllungsgrad in Relation zu einem Referenzpunkt gemacht werden. Relative Angaben können außerdem benutzt werden, falls die Abschätzung des Absolutwertes zu aufwendig ist.
Bsp.: Haltbarkeit der Oberflächenabdichtung
 \Rightarrow Subjektiv geschätzte Haltbarkeit im Verhältnis zu einer standardisierten Oberflächenabdichtung

3.7. Quantifizierung und Wahrscheinlichkeiten

Der nächste Schritt besteht aus der Quantifizierung aller Kriterien für jede Alternative. Dies kann je nach Informationsstand und Relevanz des Kriteriums in verschiedenen Detaillierungsgraden durchgeführt werden. In der Regel ist ein iteratives Vorgehen mit einer schrittweisen Verfeinerung der Quantifizierungsmodelle sinnvoll.

Bei der Quantifizierung stößt man fast zwangsläufig auf die Tatsache, daß die Ergebnisse der Alternativen auf den Kriterien nicht exakt bestimmt werden kann. Die Ursachen der Informationsunsicherheit sind dabei äußerst vielfältig:

So ist es möglich, daß erforderliche, neue Informationen zwar theoretisch bestimmbar sind, jedoch

- aus praktischen Gründen (es existiert kein geeignetes Meßprinzip),

- aufgrund der Verhältnismäßigkeit von Aufwand und Ergebnis

oder

- einfach wegen dem zeitlichen Versatz von Entscheidungs- und Bestimmungszeitpunkt (Schäden durch Erdbeben innerhalb der nächsten 100 Jahre)

entweder überhaupt nicht oder nicht mit der erforderlichen Genauigkeit ermittelt werden können.

Falls Informationen aus existierenden Quellen (Literatur, Experten, Anbieterfirmen, eigene Einschätzungen) bezogen werden, so können diese

- unvollständig (mangelndes externes Wissen; prinzipiell keine Auskunft von Firmen oder anderen Institutionen; noch nicht festgelegte, externe Entscheidungen),
- unscharf (verbale Aussagen, subjektive Einschätzungen),
- widersprüchlich (bei Konsultation verschiedener Quellen)

oder

- verfälscht (wissentlich oder unbewußt) sein.

Neben den Eingangsinformationen können auch die Modelle, die diese auf die Zielkriterien abbilden, zu einer Vergrößerung der Unsicherheiten beitragen. So müssen häufig aus prinzipiellen (naturwissenschaftlich mangelndes Verständnis von Prozessen) oder aus Effektivitätsgründen vereinfachte Modelle verwendet werden.

Bei der Charakterisierung von Informationsunzulänglichkeiten muß unterschieden werden zwischen unsicherem Wissen, das erkannt wurde, jedoch nicht genau bestimmt werden kann, und unbekanntem Wissen (unvorhergesehene Ereignisse, Modellfehler). Die Berücksichtigung von Unsicherheiten kann zwar zu gründlicheren Überlegungen führen und damit einige, bisher unbeachtete Sachverhalte aufdecken, es gibt jedoch keine Möglichkeit, schlechte Ergebnisse, die aus nicht bekannten Tatsachen herrühren, auszuschließen.

Weiterhin ist die Unterscheidung zwischen Unsicherheiten bei der Quantifizierung und bei der Bewertung (z.B. die Größe der Abwägungsparameter, s. 3.10., oder das Maß der Risikoa-version, s. 3.8.) sehr wesentlich. Die zuerst genannten zeichnen sich dadurch aus, daß im Prinzip objektiv korrekte Informationen existieren, die jedoch nicht exakt ermittelt werden können. Für letztere existieren nur subjektive Ansichten, die bestenfalls durch einen allgemeinen, gesellschaftlichen Konsens festgelegt wurden. Die Erfassung der Bewertungsunsicherheiten kann verwendet werden, um die Konsequenzen bestimmter Festlegungen zu demonstrieren (vgl. 5.3.5.2.) und damit die Entscheidung zu erleichtern. Es ist jedoch nicht zulässig, diese ohne Rückfrage durch einen numerischen Algorithmus zu beseitigen (z.B. Verwendung des Mittelwertes).

Die Darstellung von Datenunsicherheiten kann auf verschiedene Arten geschehen /Ng-90/. Die drei wichtigsten Methoden sind:

- **Angabe von Intervallen**

Die Intervallgrenzen stellen absolute Minimal- und Maximalwerte dar. Innerhalb des durch sie definierten Wertintervalls müssen die Ergebnisse liegen.

- **Nutzung von Fuzzy-Sets**

Die Fuzzy-Set-Theorie /Zadeh-78/ zielt insbesondere auf die Verarbeitung unscharfer verbaler Aussagen ab. Falls ausschließlich auf der Grundlage derartiger Informationen eine Entscheidung getroffen werden muß, so ist der Einsatz der Fuzzy-Set-Theorie gerechtfertigt. Sollte es jedoch möglich sein, die entsprechenden Angaben durch Nachfrage zu präzi-

sieren oder die Art der Information selber festzulegen, so führen die zahlreichen, impliziten Annahmen eines Fuzzy-Set-Ansatzes zu einer unzulässigen und unnötigen Informationsreduktion und -verfälschung. Es erscheint für das hier betrachtete Anwendungsgebiet angebrachter, eine Präzisierung der verwendeten Begriffe anzustreben, als unpräzise Aussagen durch ein Berechnungsschema abzubilden.

– **Wahrscheinlichkeiten**

Zusammen mit der EA wurde ein neuer Wahrscheinlichkeitsbegriff entwickelt, die subjektive Wahrscheinlichkeit. Während die üblicherweise verwendeten, statistischen Wahrscheinlichkeiten als Grenzwerte von Häufigkeiten bei großem Stichprobenumfang definiert sind, gibt die subjektive Wahrscheinlichkeit den Wissensstand des Entscheiders bzw. Experten wieder und drückt damit subjektive Überzeugungen aus /Huber-74/. Gerade wenn die vorhandenen Informationen sich nicht bis zur Ermittlung einer Wahrscheinlichkeit im statistischen Sinne verdichten lassen, ermöglicht der subjektive Wahrscheinlichkeitsbegriff die Einbeziehung aller vorhandenen Daten (also auch Erfahrungen, Abschätzungen, Analogieschlüsse oder Anhaltspunkte) in die Entscheidung.

Es geht bei der Ermittlung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten nicht darum, den Zahlenwert einer Größe zu erraten, sondern es soll der Kenntnisstand über die betrachtete Größe quantitativ erfaßt werden. Dies schließt insbesondere nicht aus, daß vorhandene statistische Daten verwendet werden. Falls der Entscheider die Daten als zuverlässig betrachtet, so drückt sich in ihnen sein Kenntnisstand aus. D.h. die EA ermöglicht es, beide Wahrscheinlichkeitsbegriffe gleichzeitig zu verwenden.

Wegen der mathematischen Fundierung und der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten erscheinen Wahrscheinlichkeiten zur Anwendung bei Sanierungsentscheidungen am besten geeignet. Im folgenden werden keine diskreten Wahrscheinlichkeiten p_m , $m=1, \dots, M$ (vgl. Abschn. 3.2.-c.) verwendet, sondern Verteilungen (**p-Verteilung**), die angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Zahlenwerte einer Größe auftreten. Im Falle kontinuierlicher Wertemengen ist die **Wahrscheinlichkeitsdichte** $p(x)$ so definiert, daß der Ausdruck $dP=p(x) \cdot dx$ angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit dP die Größe im Bereich dx um x liegt²².

Gerade subjektive p-Verteilungen werden häufig nur durch wenige Aussagen bestimmt (Minimalwert, Maximalwert, Median, 25%- und 75%-Fraktile²³). Sie sind in einem gewissen Sinn nur eine Erweiterung von Intervallangaben, die eine genauere Festlegung der Wahrscheinlichkeitsstruktur innerhalb des Intervalls zuläßt. In diesem Sinne ist auch der Informationsgehalt von subjektiven p-Verteilungen zu verstehen. Es ist nicht zulässig, einzelne Punkte von p-Verteilungen zu interpretieren. Daher ist die häufig vorgebrachte Kritik, daß durch p-Verteilungen ein nicht begründbarer Informationsstand vorgetäuscht würde, nicht angemessen.

Bei der Bestimmung von Informationen unter Nutzung subjektiver Ansichten treten verschiedene Arten von wissentlichen und unwissentlichen Verfälschungen durch die beschreibende Person auf. Um diese zu erkennen und zu minimieren sind verschiedene Methoden entwickelt worden /Merkhofer-87, Keeney-91/.

²² Die bis heute anhaltende Diskussion über die Interpretation des Wahrscheinlichkeitsbegriffes findet man in /von Weizsäcker-95/.

²³ Ein Fraktile oder auch Quantil/Perzentil X_q einer p-Verteilung $p(x)$ ist wie folgt definiert: $q = \int^{X_q} dx \cdot p(x)$, d.h. als der x-Wert bei dem die Wahrscheinlichkeit, daß x unterhalb von X_q liegt gleich q ist.

Es gibt verschiedene Arten, Wahrscheinlichkeitsaussagen²⁴ darzustellen, die z.T äquivalent sind.:

a) **Aufzählung diskreter Verteilungen** (vgl. 3.2.-c.).

Beispiel: $p(K)=[0.5: 90 \text{ MDM}, 0.5: 100 \text{ MDM}]$

b) **Festlegung von Wertintervallen.** In der Regel wird die Wahrscheinlichkeit, daß Werte außerhalb des angegebenen Wertintervalls liegen, gleich Null gesetzt. Innerhalb der Bereiche wird eine konstante Wahrscheinlichkeitsdichte angenommen.

Beispiel: Kosten = 5 - 10 Mill. DM

c) **Definition von Mittelwert und Schwankungsbreite.** Meistens wird implizit eine Gauß-Verteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte angenommen.

Beispiel: Kosten = 7 Mill. DM \pm 1 Mill DM

d) **Angabe von Wahrscheinlichkeitsintervallen.** Es werden Intervalle und Wahrscheinlichkeiten, daß sich die Werte in diesen Intervallen befinden, festgelegt. Innerhalb der Intervalle wird eine konstante Wahrscheinlichkeitsdichte angenommen:

$$P(5 \text{ MDM} \leq K < 7 \text{ MDM}) = 0.3$$

$$P(7 \text{ MDM} \leq K < 8 \text{ MDM}) = 0.5$$

$$P(8 \text{ MDM} \leq K \leq 10 \text{ MDM}) = 0.2$$

e) **Aufstellung einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $p(x)$** (Definition s.o.).

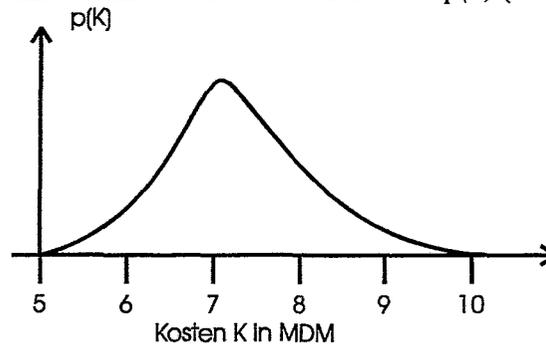


Abbildung 7. Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion über die Kosten

f) **Angabe einer (kumulativen) Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion.** Diese ist definiert durch: $P(z) = \int^z dx p(x)$. Insbesondere p-Verteilungsdichten, die sowohl diskrete als auch kontinuierliche Anteile enthalten, lassen sich damit besser darstellen.

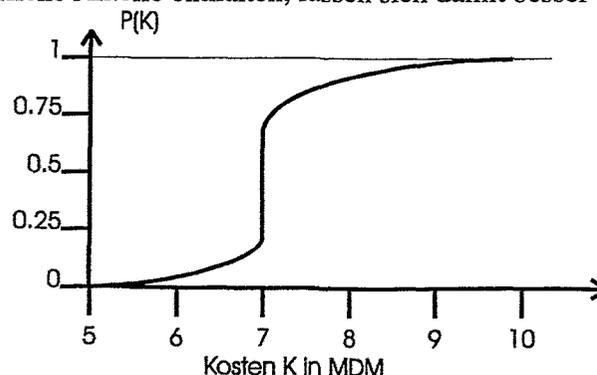


Abbildung 8. Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion über die Kosten.

²⁴ Die graphischen Darstellungsmöglichkeiten von unsicheren Daten werden detailliert untersucht in /Morgan-90/.

Die Vorteile der Erfassung und expliziten Darstellung von Informationsunsicherheiten durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden in 3.13. und Anhang A sowie in den Ergebnissen des Fallbeispiels (s. 5.3.5.1.) näher illustriert.

3.8. Bestimmung von eindimensionalen Nutzenfunktionen

Wie aus den Ausführungen des vorherigen Abschnittes zu entnehmen war, ist die Darstellung und der Umgang mit Unsicherheiten ein integraler Bestandteil der Sanierungsentscheidung. Werden diese durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfaßt, so liegt dem Entscheider nach erfolgter Quantifizierung eine Matrix mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen für alle Alternativen und Kriterien vor.

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie man das Entscheidungsverhalten bei Unsicherheit²⁵ für Probleme mit einem Kriterium erfassen kann. Damit werden die Grundlagen für Entscheidungen mit mehreren Kriterien gelegt. Die im folgenden entwickelten **eindimensionalen**²⁶ **Nutzenfunktionen** u werden dort bei der Formulierung einer Gesamtnutzenfunktion wiederverwendet.

Steht der Entscheider vor dem in Abbildung 9. skizzierten Entscheidungsproblem zwischen einer Alternative mit sicheren Kosten von [8 MDM] und einer Alternative mit unsicherem Kostenergebnis (dargestellt durch die Lotterie [0.5: 5 MDM, 0.5: 10 MDM]), so wird er sich häufig für die erste Variante entscheiden²⁷. Der Kostenerwartungswert der zweiten Variante ist mit 7.5 MDM zwar niedriger als die sichere Zahlung von 8 MDM, jedoch schreckt das Risiko im ungünstigen Fall 10 MDM zahlen zu müssen, den Entscheider von dieser Variante ab. Man sagt in diesem Fall, der Entscheider sei risikoavers. Ein häufiger Grund für dieses Verhalten ist, daß der Nutzen (bzw. Schaden) eines Ergebnisses als nichtproportional zu seinem Zahlenwert empfunden wird (z.B. wegen eines verfügbaren Etats um 10 MDM)²⁸. Dieser Sachverhalt kann durch Einführen einer Transformationsfunktion, der **Nutzenfunktion** u berücksichtigt werden²⁹ (vgl. 3.2., Folgerungen). Diese Funktion bildet die Ergebnisse des Kriteriums auf einen Teilbereich der reellen Zahlen ab. Neben risikoaversem Verhalten kann mit der Nutzenfunktion auch risikofreudiges (Wahl der Lotterie auch bei einem sicheren Ergebnis kleiner als 7.5 MDM) und risikoneutrales Verhalten (Äquivalenz zwischen Lotterie und sicherem Ergebnis, falls dieses dem Erwartungswert der Lotterie entspricht) ausgedrückt werden.

²⁵ Entscheidungen auf der Basis unsicherer Daten werden auch als 'Risikoentscheidungen' bezeichnet.

²⁶ Eindimensional bedeutet, daß der Ergebnisraum, der im Falle eines einzigen Kriteriums eindimensional ist, durch die Nutzenfunktion u auf eine Teilmenge der reellen Zahlen abgebildet wird (s. Abschnitt 3.2.).

²⁷ Dieses Entscheidungsverhalten wird mit der Notation aus Abschnitt 3.2.-c) beschrieben durch:

[8] \succ [0.5:5 , 0.5:10]. Im folgenden wird die Einheit **MDM** zwecks besserer Lesbarkeit fortgelassen.

²⁸ Die andere Erklärungsmöglichkeit für ein derartiges Verhalten wäre eine nichtlineare Wahrnehmung von Wahrscheinlichkeiten. Aus dem Axiom 3 (Substituierbarkeit) aus Abschnitt 3.2. folgt jedoch eine lineare Beziehung zwischen dem Nutzen einer Lotterie und den in ihr verwendeten Wahrscheinlichkeiten. Die auf einer nichtlinearen Wahrscheinlichkeitsperzeption beruhenden Ansätze /Fishburn-88, Machina-82, Quiggin-93/ werden daher im folgenden nicht weiter betrachtet.

²⁹ In der EA-Literatur wird unterschieden zwischen Bewertungs- (value-) und Nutzen- (utility-)funktionen /Sarin-82/. Während die ersten nichtlineare Präferenzen bei sicheren Ergebnissen ausdrücken, sind letztere zur Berücksichtigung des Risikoverhaltens notwendig. Diese Unterscheidung wird im weiteren nicht verwendet, weil im Falle einer Nutzenunabhängigkeit der Kriterien (s.u.) sich die beiden Effekte überlagern und gemeinsam mit einer Transformationsfunktion behandelt werden können. Weitere Argumente für diese Vorgehensweise sind in /von Winterfeldt-86/ zu finden.

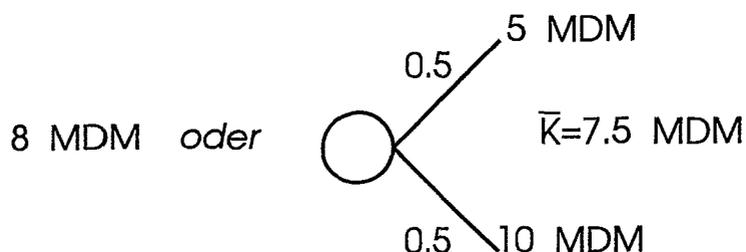


Abbildung 9. Wahl zwischen einer Alternative mit sicheren Kosten und einer Alternativen mit unsicheren Kosten, dargestellt durch eine Lotterie.

Das Risikoverhalten des Entscheiders für das betrachtete Kriterium wird in mehreren Problemstellungen obiger Art ermittelt und dann durch die Nutzenfunktion u dargestellt. Die im Abschnitt 3.2. beschriebenen Axiome sichern, daß diese Nutzenfunktion stets existiert und das Präferenzverhalten korrekt widerspiegelt. Man verfährt dabei folgendermaßen:

- Durch Veränderung der linken Alternative in Richtung höherer Kosten, kann eine Situation erzeugt werden, in der der Entscheider indifferent zwischen den beiden Alternativen ist (s. Abschnitt 3.2., Axiom 4.); z.B. $[8.5] \approx [0.5:5, 0.5:10]$. In diesem Fall ist der Nutzen-erwartungswert beider Alternativen gleich. Dies wird durch eine Anforderung an die Nutzenfunktion u festgehalten:

$$u(8.5) = 0.5 * u(5) + 0.5 * u(10)$$

- Aus der Normierung³⁰ $u(5):=1, u(10):=0$ folgt $u(8.5)=0.5$. (s. Abbildung 10.).
- Eine weitere Spezifizierung der Nutzenfunktion innerhalb des Wertebereiches 5-10 MDM ist durch die Problemstellungen $x \approx [0.5: 8.5, 0.5: 10]$, $9 \approx [p: 8.5, (1-p): 10]$ oder $8.5 \approx [0.75: x, 0.25: 10]$ denkbar, wobei jeweils x bzw. $p \in [0,1]$ so bestimmt werden müssen, daß die Äquivalenz gilt. Somit kann iterativ die Nutzenfunktion verfeinert werden, wobei Kontrollprobleme zur Verifizierung verwendet werden sollten.

Die hier dargestellte Vorgehensweise zur Ermittlung der Nutzenfunktion beruht auf der Beziehung: $u(\hat{x}(p)) = \bar{u}(p)$ ³¹. Andere Ansätze sind in /von Winterfeldt-86, Keeney-93/ zu finden.

In Abbildung 10. ist eine risikoaverse, eine risikoneutrale und eine risikofreudige Nutzenfunktion dargestellt. Allgemein gelten bei Risikoaversion die Beziehungen: $u(\bar{x}(p)) > \bar{u}(p)$, sowie mit abnehmender Präferenz für steigende x : $\hat{x}(p) > \bar{x}(p)$. Im Falle von Risikofreude gelten die umgekehrten Beziehungen und bei Risikoneutralität jeweils Äquivalenzen. Die Form der

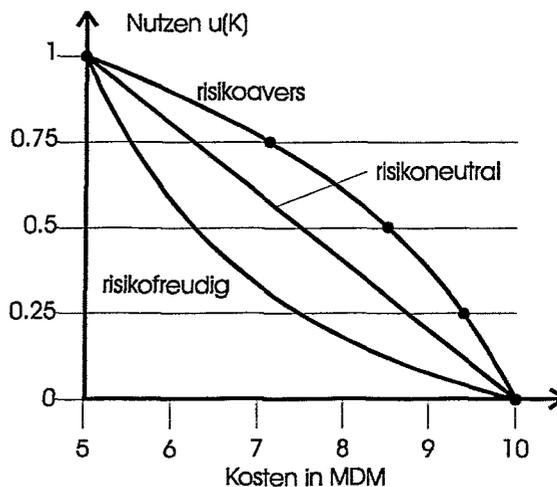


Abbildung 10. Nutzenfunktionen über die Kosten.

³⁰ Weil die Nutzenfunktion bis auf eine positiv lineare Transformation bestimmt ist, kann eine beliebige Normierung verwendet werden. Es ist üblich, die Minimal- und Maximalwerte auf 0 bzw. 1 zu setzen. Es ist jedoch auch möglich, die Steigung der Nutzenfunktion im Nullpunkt auf 1 zu normieren.

³¹ Zur Definition des Sicherheitsäquivalentes \hat{x} s. 3.2., Axiom 4.

Nutzenfunktion (konkav oder konvex) hängt sowohl von der Präferenzrichtung über die Ergebnisse, als auch von der gewählten Normierungsart ab.

Sehr häufig wird eine exponentielle Nutzenfunktion verwendet. Mit der Normierung $u(x=0)=0$, $u'(x=0)=1$ gilt für sie die Formel: $u(x) = (e^{\alpha \cdot x} - 1) / \alpha$. Abnehmende Präferenz für steigende x , wie z.B. für Kosten, kann durch Vorzeichenwechsel berücksichtigt werden. Mit dem Parameter α kann das Risikoverhalten eingestellt werden. Deshalb wird er im weiteren auch als 'Risikoparameter' bezeichnet.

3.9. Aufstellung einer Gesamtnutzenfunktion

Die im Abschnitt 3.2. beschriebenen Axiome garantieren die Existenz einer Gesamtnutzenfunktion, die die Präferenzstruktur des Entscheiders konsistent wiedergibt. Im letzten Abschnitt wurde gezeigt, wie man diese Nutzenfunktion für einzelne Kriterien ermittelt. Für Entscheidungen bei realen Problemen sind jedoch in der Regel mehrere Kriterien relevant. Unter bestimmten Bedingungen, die im weiteren ausgeführt werden, läßt sich die Gesamtnutzenfunktion durch eine einfache, arithmetische Kombination von eindimensionalen Nutzenfunktionen bilden.

Die einfachste Form der Gesamtnutzenfunktion ist die **additive Form** (1).

$$u_{ges}(x_1, \dots, x_N) = \sum_{i=1, N} k_i \cdot u_i(x_i) \quad (1)$$

Hierbei ist $u_i(x_i)$ die eindimensionale Nutzenfunktion über die Ergebnisse auf dem Kriterium i . k_i sind freie Abwägungsparameter, für additive Gesamtnutzenfunktionen auch Gewichtskonstanten genannt.

Diese Form ist jedoch nur anwendbar, falls die Bedingung der **additiven Nutzenunabhängigkeit** (2) aller Kriterien erfüllt ist³² /Keeney-93/:

$$\begin{aligned} \forall i \in \{1, \dots, N\}, x_i, y_i \in X_i, \bar{x}_i, \bar{y}_i \in \bar{X}_i: \\ [0.5:(x_i, \bar{x}_i), 0.5:(y_i, \bar{y}_i)] \approx [0.5:(x_i, \bar{y}_i), 0.5:(y_i, \bar{x}_i)] \end{aligned} \quad (2)$$

Ein Gegenbeispiel ist in Abbildung 11. dargestellt. Die rechte Lotterie, in der ein Ausgleich von guten und schlechten Ergebnissen auf den beiden Kriterien stattfindet, wird gegenüber der linken Lotterie, die entweder gute oder schlechte Ergebnisse auf beiden Kriterien gleichzeitig ergibt, bevorzugt. Wie man leicht durch Berechnung des Nutzenerwartungswertes für beide Lotterien nachprüft³³, läßt sich eine derartige Präferenz durch additive Nutzenfunktionen nicht ausdrücken.

³² $\bar{X}_i := X_1 \times X_2 \cdots X_{i-1} \times X_{i+1} \cdots X_N$,

Definition des Ausdrucks (x_i, \bar{x}_i) : $x_i \in X_i, \bar{x}_i \in \bar{X}_i$; $(x_i, \bar{x}_i) \in X$

³³ Die Alternative B wird gegenüber A bevorzugt, daraus folgt, daß der Nutzenerwartungswert von A kleiner als der von B sein muß ($\bar{u}_{ges,A} < \bar{u}_{ges,B}$). Es gilt aber:

Kriterien: - Kosten K [MDM]
- Umweltschaden S [ha]

$$u_{ges} = k_1 u_K(K) + k_2 u_S(S)$$

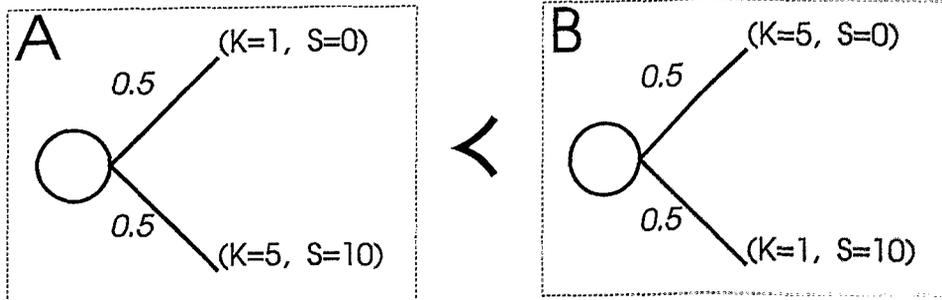


Abbildung 11. Beispiel für eine Präferenzstruktur bzgl. zweier Lotterien, die nicht durch eine additive Gesamtnutzenfunktion darstellbar ist.

In diesem Fall muß man zu allgemeineren Ausdrücken übergehen. In diesem Zusammenhang sind die Begriffe der Nutzenunabhängigkeit und Präferenzunabhängigkeit sehr wichtig:

- Ein Kriterium X_1 ist von den anderen Kriterien X_2, \dots, X_N **nutzenunabhängig**, falls die Präferenzstruktur für Lotterien über das Kriterium X_1 nicht von den Ergebnissen auf den anderen Kriterien abhängt^{34,35} (3):

$$\begin{aligned} \forall \bar{x}_1, \bar{y}_1 \in \bar{X}_1; \mathbf{p}, \mathbf{q} \in \mathbf{P}(X_1): \\ (\mathbf{p}, \bar{x}_1) \prec (\mathbf{q}, \bar{x}_1) \Rightarrow (\mathbf{p}, \bar{y}_1) \prec (\mathbf{q}, \bar{y}_1) \end{aligned} \quad (3)$$

- Ein Kriterienpaar (X_1, X_2) ist von den anderen Kriterien X_3, \dots, X_N **präferenzunabhängig** (Formel (4)³⁶), falls die Präferenzstruktur für Ergebnisse auf diesen beiden Kriterien nicht von den Ergebnissen auf den anderen Kriterien abhängt.

$$\begin{aligned} \forall \bar{x}_{12}, \bar{y}_{12} \in \bar{X}_{12}; \mathbf{x}_{12}, \mathbf{y}_{12} \in X_1 \times X_2: \\ (\mathbf{x}_{12}, \bar{x}_{12}) \prec (\mathbf{y}_{12}, \bar{x}_{12}) \Rightarrow (\mathbf{x}_{12}, \bar{y}_{12}) \prec (\mathbf{y}_{12}, \bar{y}_{12}) \end{aligned} \quad (4)$$

Der **multilineare** Ausdruck (5) folgt aus der Bedingung der Nutzenunabhängigkeit aller Einzelkriterien /Keeney-88/. Dies bedeutet insbesondere, daß die Bedingung der additiven Nutzenunabhängigkeit nicht erfüllt werden muß.

$$u_{ges}(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1, N} k_i u_i(x_i) + \sum_{i=1, N} \sum_{j>i} k_{ij} u_i(x_i) u_j(x_j) + \dots + k_{123 \dots n} u_1(x_1) \dots u_n(x_n), \quad N \geq 3 \quad (5)$$

Die **multiplikative** Form ergibt sich, falls X_1 nutzenunabhängig von X_2, \dots, X_N und (X_1, X_i) , $i=2, \dots, N$ präferenzunabhängig von \bar{X}_{1i} ist.

$$\bar{u}_{ges,A} = 0.5(k_1 \cdot u_K(1) + k_2 \cdot u_S(0)) + 0.5(k_1 \cdot u_K(5) + k_2 \cdot u_S(10)),$$

$$\bar{u}_{ges,B} = 0.5(k_1 \cdot u_K(5) + k_2 \cdot u_S(0)) + 0.5(k_1 \cdot u_K(1) + k_2 \cdot u_S(10))$$

$$\Rightarrow \forall k_1, k_2 \in \mathfrak{R}, \forall u_K, u_S \in \{f|\mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}\}: \bar{u}_{ges,A} = \bar{u}_{ges,B} \text{ Widerspruch !}$$

³⁴ (\mathbf{p}, \bar{x}_1) ist eine Lotterie über Ergebnisse aus X_1 jeweils kombiniert mit dem festen Ergebnis $\bar{x}_1 \in \bar{X}_1$

³⁵ Wie gezeigt werden kann, folgt aus der additiven Unabhängigkeit auch Nutzenunabhängigkeit, nicht jedoch umgekehrt. Die additive Unabhängigkeit stellt damit eine stärker einschränkende Eigenschaft dar.

³⁶ $\bar{X}_{12} := X_3 \times X_4 \dots X_N$,

$$u_{ges}(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1, N} k_i u_i(x_i) + k \sum_{i=1, N} \sum_{j>i} k_i k_j u_i(x_i) u_j(x_j) + \dots + k^{N-1} k_1 \dots k_N u_1(x_1) \dots u_n(x_n) \quad (6)$$

Falls weder die Voraussetzungen für die additive Form noch für die multilineare oder multiplikative Form erfüllt sind, so gibt es folgende Möglichkeiten fortzufahren:

- Restrukturierung des Wertbaumes auf andere Kriterien und Attribute.
- Direkte Bestimmung der Gesamtnutzenfunktion durch zahlreiche, vereinfachte Entscheidungen und anschließende Anwendung eines Interpolationsverfahrens.
- Aufteilung des betrachteten Ergebnisraumes in Teilräume, in denen die Unabhängigkeitsrelationen (2), (3) oder (4) gelten.
- Benutzung schwächerer Annahmen über die Präferenzstruktur, die zu allgemeineren Formen der Nutzenfunktion führen /Fishburn-74, Fishburn-75, Farquhar-75/.

Nachdem die Form der Gesamtnutzenfunktion festliegt und die eindimensionalen Nutzenfunktionen bestimmt wurden, verbleiben freie Parameter (k, k_i, k_{ij}, \dots), die u.a. die Gewichtung der einzelnen Kriterien widerspiegeln. Diese müssen besonders sorgfältig bestimmt werden, da mit ihnen implizit Abwägungen zwischen Kriterien gleicher Maßeinheit und Trade-off-Raten³⁷ für Kriterien mit unterschiedlicher Maßeinheit definiert werden³⁸. Die Reihenfolge der Alternativen kann sehr sensitiv von diesen Parametern abhängen.

3.10. Bestimmung der Abwägungsparameter

Bei der Bestimmung der Abwägungsparameter ist es unabdingbar, daß der Entscheider eine klare Vorstellung davon bekommt, welche Konsequenzen die Festlegung der Zahlenwerte der Parameter hat³⁹. Ihm muß klar sein, in welchen Einheiten die abzuwägenden Kriterien gemessen werden und er muß mit Ergebnissen auf den Kriterien auch Zustände assoziieren können. In diesem Zusammenhang ist die Forderung ii) aus Abschnitt 3.6. an Attribute unerlässlich, daß diese die Kriterien quantitativ vollständig erfassen. Die Verteilung von Gewichten an abstrakte, nicht vorstellbare und nicht mit einer Einheit belegte Kriterien ist für eine quantitative Abwägung zwischen verschiedenen Alternativen nutzlos.

Die Festlegung der Abwägungsparameter erfolgt durch einfache, multiattributive Entscheidungen. Dabei werden entweder Indifferenzkurven⁴⁰ bzw. Trade-off-Raten ermittelt oder einfache Lotterien über zwei Kriterienergebnisse verglichen. Verschiedene Techniken dazu werden in /von Winterfeldt-86/ beschrieben. Die Abwägungsparameter werden danach so

³⁷ Die Trade-off-Rate t gibt an, wieviel man bereit ist, auf einem Kriterium einzubüßen, um damit einen Gewinn auf einem anderen Kriterium zu erreichen. Es sei $u_{ges} = u_{ges}(x, y)$. Dann gilt $t := \frac{\partial x}{\partial y} \Big|_{u_{ges} = \text{const}}$

³⁸ Im folgenden wird vereinfachend von **Abwägungsparametern** oder **Gewichtungsparametern** gesprochen. Gemeint ist jedoch stets die Gesamtheit der freien Parameter.

³⁹ Dies bedeutet nicht, daß die Bewertungsreihenfolge der Alternativen sofort errechnet wird, da diese Information zu unzulässigen Verfälschungen der Aussagen führen kann. Es sollte aber aufgezeigt werden, wie der Ergebnisraum durch die Festlegungen strukturiert wird.

⁴⁰ Eine Indifferenzkurve I zeichnet sich dadurch aus, daß der Entscheider bezüglich aller Ergebnispunkte auf ihr indifferent ist: $\forall x, y \in I \subset X: x \approx y$

angeglichen, daß sie die getroffenen Aussagen reproduzieren (vgl. Abschnitt 4.3.4., Trade-off-Editor).

Mit den Methoden der EA konnte bis zu diesem Punkt folgendes erreicht werden:

- Die Wertbaumanalyse (Abschnitt 3.5.) in Verbindung mit den Unabhängigkeitsrelationen zwischen den Kriterien (Abschnitt 3.9.) half, die Form der Gesamtnutzenfunktion festzulegen. Das durch viele Kriterien gekennzeichnete Entscheidungsproblem konnte dadurch in mehrere, jeweils durch zwei Kriterien beschreibbare Probleme zerlegt werden.
- Es wurden Bedingungen formuliert unter denen die Unsicherheiten auf den Kriterienergebnissen separat behandelt werden können. Falls ein Kriterium nutzenunabhängig von den anderen Kriterien ist, so kann eine eindimensionale Nutzenfunktionen für dieses Kriterium ermittelt werden (Abschnitt 3.8.). Die Bestimmung der Abwägungskonstanten vereinfacht sich dann für dieses Kriterium, weil die Ergebnisse auf diesem Kriterium als bekannt angenommen werden können.

Die schwierige Abwägung von verschiedenen Kriterien gegeneinander wurde durch diese Methoden auf einfachste Situationen reduziert. Sie bleibt jedoch als wichtigstes Element der Entscheidung unumgänglich. Häufig ist es unvermeidbar, daß die notwendigen Abwägungen durch die Entscheider rein subjektiv vorgenommen werden müssen. Dabei ist der Standpunkt des Entscheiders zu den Abwägungspunkten wichtig. So ist es möglich, daß Kriterien, die den Entscheider selbst betreffen, von ihm bewußt oder unbewußt höher gewichtet werden, als solche, die ihn nicht berühren. Es ist jedoch günstiger, falls Anhaltspunkte zur Verfügung stehen:

- So kann eine Orientierung an Entscheidungen in anderen Bereichen erfolgen. Dabei ist unbedingt der Entscheidungskontext der anderen Bereiche auf Übertragbarkeit zu überprüfen. So wurde z.B. in Untersuchungen festgestellt, daß die Kosten zur statistischen Lebenszeitverlängerung [\$/Mann-Jahr] um den Faktor 10^7 in verschiedenen Bereichen variieren /Cohen-80/. Dies bedeutet, auch die Gewichtungskonstante zwischen den Kriterien 'Kosten' und 'Statistischen Lebenszeitverluste' variiert um den Faktor 10^7 in Abhängigkeit von dem Bereich aus dem man die Anhaltspunkte entnimmt !
- Die Abwägungsparameter von bereits getroffenen Sanierungsentscheidungen können als Anhaltspunkte verwendet werden. Subjektive Festlegungen lassen sich leichter begründen, wenn man auf Konsistenz zu vorherigen Fällen hinweisen kann. Auch hier ist jedoch die Kontrolle der Übertragbarkeit sehr wichtig.
- Des weiteren können die "globalen" Auswirkungen von Festlegungen untersucht werden. Eine Abschätzung kann z.B. ergeben, daß eine Behandlung aller Altlastfälle mit dem Entscheidungsmodell finanziell nicht tragbar ist. In diesem Fall muß das Modell an reale Gegebenheiten angepaßt werden.
- Schließlich können die Abwägungen in Abstimmung mit anderen Personen, z.B. mit den Mitgliedern der für den Sanierungsfall zuständigen Arbeitsgruppe erfolgen. Eine andere Möglichkeit ist die Konsultierung von Fachexperten aus den betroffenen Gebieten. Die Vertretbarkeit subjektiver Ansichten und der aus ihnen abgeleiteten Entscheidung steigt, falls eine breite Konsensbasis vorhanden ist.

3.11. Evaluation der Alternativen

Nachdem die Gesamtnutzenfunktion definiert und alle Alternativen A_k über die Kriterienmenge quantifiziert wurden, erfolgt eine formale Evaluation aller Alternativen A_k durch Berechnung ihrer sogenannten **Gesamtnutzenerwartungswerte** \bar{u}_{ges}^k . Hierbei wird nicht nur eine vollständige **Rangfolge** der Alternativen festgelegt ($A_k \prec A_l \Leftrightarrow \bar{u}_{ges}^k < \bar{u}_{ges}^l$), sondern der Gesamtnutzenerwartungswert ist auch ein quantitatives Maß für die Bewertung der Alternativen⁴¹. Daraus folgt, daß auch Lotterien über Alternativen mittels der Gesamtnutzenerwartungswerte evaluiert werden dürfen. Diese Tatsache ist im Hinblick auf sequentielle Entscheidungen (4.3.) und die Berechnung des Wertes zusätzlicher Informationen (s. n. Abschnitt) sehr wichtig.

Es sei $p^k(x)$ die Wahrscheinlichkeitsverteilung über X für die Alternative A_k . Damit wird \bar{u}_{ges}^k berechnet zu:

$$\bar{u}_{ges}^k = \int_{\mathbf{x}} d\mathbf{x} p^k(\mathbf{x}) u_{ges}(\mathbf{x})$$

Falls die Kriterienergebnisse statistisch unabhängig sind, so kann $p^k(x)$ als ein Produkt über die eindimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_i^k(x_i)$ (i : Kriterienindex) geschrieben werden. Dies vereinfacht die Berechnung des Nutzenerwartungswertes erheblich. Für additive Gesamtnutzenfunktionen gilt:

$$\bar{u}_{ges}^k = \sum_{i=1, N} k_i \bar{u}_i^k \quad \text{mit} \quad \bar{u}_i^k = \int_{x_i} dx_i p_i^k(x_i) u_i(x_i)$$

D.h. das Integral über den N-dimensionalen Ergebnisraum wird durch N Integrale über eindimensionale Ergebnisräume ersetzt. Für multiplikative und multilineare Gesamtnutzenfunktionen gelten analoge Formeln.

Häufig treten Situationen auf, in denen über einige Maßnahmen sofort entschieden werden muß und andere auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden können. Beispielsweise kann je nach dem tatsächlichen Sanierungserfolg über die spätere Folgenutzung der sanierten Fläche entschieden werden. Auch Vorversuche, die weitere Informationen liefern (s. n. Abschnitt) führen zu sequentiellen Entscheidungsproblemen. Im Rahmen der EA ist es im Gegensatz zu anderen, entscheidungsunterstützenden Methodiken möglich, sequentielle Entscheidungsprobleme zu bewerten. Ein einfaches Beispiel wird im Abschnitt 4.3. in Verbindung mit Strukturierungshilfsmitteln für sequentielle Entscheidungen beschrieben. Detailliertere Informationen zu diesem Themenkomplex sind in /Raiffa-73/ zu finden.

⁴¹ Deshalb kann auch sinnvoll von dem **Nutzen einer Entscheidungssituation** gesprochen werden. Stehen die Alternativen A_k , $k=1, \dots, K$ zur Verfügung, so ist der Nutzen dieser Situation definiert durch das Maximum der Gesamtnutzenerwartungswerte der Alternativen $\bar{u}_{ges} = \max_k \{ \bar{u}_{ges}^k \}$

3.12. Ableitung von Modellimplikationen

Die Berechnung der Gesamtnutzenerwartungswerte aller Alternativen und damit einer Rangfolge der Alternativen kann nur ein erster Schritt zur Lösung des Entscheidungsproblems sein. Wichtiger noch als diese Zahlenwerte ist die Untersuchung des erstellten Entscheidungsmodells. Die EA als vollnumerische Entscheidungsmethodik eröffnet nun die Möglichkeit zu zahlreichen Modellinspektionen und -variationen. Konkrete Hilfsmittel dazu werden in 4.3.4. beschrieben.

Mit passiven Analysen kann das erstellte Entscheidungsmodell näher untersucht werden, ohne Änderungen vorzunehmen. Die berechneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen geben Aufschluß über die Ursachen von Bewertungsunsicherheiten, die Darstellung der Korrelationen mehrerer Größen kann zur Identifizierung probabilistischer Korrelationen und relevanter Einflußfaktoren verwendet werden. Durch aktive Analysen können die Auswirkungen von quantitativen Modelländerungen untersucht werden. Das wichtigste Hilfsmittel dazu ist die Sensitivitätsanalyse, mit der die Abhängigkeit der Kenngrößen von p-Verteilungen (Mittelwert, Varianz, Extremalwerte, Fraktile) als Funktion von Modellparametern (z.B. von Funktionsparameter) dargestellt werden kann. Speziell zur Variation von Abwägungsparametern ist dieses Hilfsmittel sehr nützlich. Durch Variation der verwendeten Modelle können die Konsequenzen qualitativer Modifikationen analysiert werden. Insbesondere die Verwendung verfeinerter Modelle und anderer Kriteriensysteme kann getestet werden. Beispiele zu durchgeführten Untersuchungen finden sich im Abschnitt 5.3.5.

Die Rangfolge der Alternativen kann empfindlich von den Unsicherheiten in den Eingangsdaten abhängen. In diesem Zusammenhang ist es nun interessant, den Wert zusätzlicher Informationen zu berechnen, d.h. lohnt es sich für den Entscheider, weitere Informationen zu ermitteln bzw. ermitteln zu lassen, oder ist der damit verbundene finanzielle und zeitliche Einsatz unangemessen hoch.

Im Rahmen der EA kann der Wert von exakten Informationen und einer Informationsverbesserung berechnet werden. Dieser wird i.d.R. durch einen Kostenbetrag ΔK_{Info} ausgedrückt. Ist dieser Wert größer als die Kosten der Informationsgewinnung, so sollten die zusätzlichen Informationen ermittelt werden. Der Wert von exakten Informationen ist hierbei als oberste Grenze des Informationswertes nützlich. Im folgenden wird aufgezeigt, wie dieser zu bestimmen ist⁴².

Der Gesamtnutzenerwartungswert der Alternativen hänge von der Wahrscheinlichkeitsverteilung p der Größe y und den Kosten K ab: $\bar{u}_{ges}^k = \bar{u}_{ges}^k(p(y), K)$. Die Größe y ist hierbei nicht notwendigerweise ein Kriterium, sondern kann eine beliebige Einflußgröße darstellen. Durch ein Gutachten zur exakten Bestimmung von y : $p(y) \rightarrow \delta(y - y')$ entstehen zusätzliche Kosten ΔK . Der Nutzen der ursprünglichen Entscheidungssituation war (k : Alternativenindex):

$$\bar{u}_{ges} = \max_k \left\{ \bar{u}_{ges}^k(p(y), K) \right\}$$

Der Nutzen der Entscheidungssituation nach Erhalt der exakten Information ist:

$$u'_{ges} = \max_k \left\{ \bar{u}_{ges}^k(\delta(y - y'), K + \Delta K) \right\}$$

⁴² Detailliertere Informationen sind in /Howard-89/ zu finden.

Nun ist a-priori nicht bekannt, welchen Wert y' das Gutachten ergeben wird. Man nimmt daher für die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p'(y')$ an es gelte: $p'(y')=p(y)$. Der Nutzenerwartungswert der Alternative mit Informationsermittlung berechnet sich damit zu:

$$\bar{u}'_{ges} = \int dy' p'(y') \max_k \left\{ \bar{u}'_{ges}{}^k (\delta(y - y'), K + \Delta K) \right\}$$

Durch Variation der zusätzlichen Kosten ΔK , kann erreicht werden, daß gilt:

$$\bar{u}'_{ges} = \bar{u}'_{ges} \Big|_{\Delta K = \Delta K_{Info}}$$

Die so erhaltene Kostendifferenz ΔK_{Info} ist der Wert der zusätzlichen, exakten Informationen über die Größe y . Ein konkretes Anwendungsbeispiel findet sich im Anhang A.

3.13. Analyse der Eignung der EA für die Sanierungsentscheidung

Vergleicht man die Eigenschaften der EA mit den in Abschnitt 2.3. aufgestellten Forderungen für entscheidungsunterstützende Methodiken bei Sanierungsentscheidungen, so kann festgestellt werden, daß viele davon durch die EA-Methodik erfüllt werden. Im folgenden soll auf die wichtigsten Punkte, die zu einer Abgrenzung der EA von herkömmlichen Verfahren (Kosten-Nutzen-Analyse) führen, eingegangen werden.

Die EA trägt zur **Strukturierung der Sanierungsuntersuchung** bei (Forderung i.). Durch die strikte Unterscheidung in alternativenspezifische und -unabhängige Informationen kann die Bewertung von der Quantifizierung getrennt werden. Diese Trennung ist insbesondere wichtig, um Manipulationen seitens der mit der Sanierungsplanung beauftragten Firmen zu vermeiden. Falls zur Charakterisierung der Kriterien überwiegend abstrakte Punkteskalen Verwendung finden, wie dies in vielen heutigen entscheidungsunterstützenden Systemen der Fall ist, kann diese wichtige Trennung nicht vorgenommen werden, weil die Wichtung abstrakter Punkte ein detailliertes Wissen um die Bedeutung der Punktwerte voraussetzt. Die Trennung in alternativenunabhängige und alternativenspezifische Daten gestattet es, Teile (Kriterien, Attribute, Nutzenfunktionen, Abwägungsparameter) vorheriger Sanierungsentscheidungen oder aus Referenzentscheidungen wiederzuverwenden und so konsistente Entscheidungen zu erreichen. Weiterhin wird durch diese Aufteilung die verwaltungstechnische Abarbeitung von Sanierungsfällen unterstützt. Kompetente Stellen, z.B. Landes- und Bundesämter als auch die am konkreten Altlastenfall beteiligten Entscheider, spezifizieren die alternativenunabhängigen Informationen und legen die einzuhaltenden Randbedingungen fest. Die mit Gutachten betrauten Firmen und die zuständigen Sachbearbeiter können dann gezielt die für die Sanierungsentscheidung notwendigen Daten ermitteln und so die alternativenspezifischen Informationen angeben.

Das im Rahmen der EA-Anwendung zu erstellende Entscheidungsmodell (s.a. Abschn. 4.2.) stellt zahlreiche Möglichkeiten zur **Arbeitsteilung der Sanierungsuntersuchung** (Forderung v.) zur Verfügung. Die Kriterien als Zielgrößen der Quantifizierung stellen eine gute Basis für eine Arbeitsteilung dar. Bei einer Aufteilung der Quantifizierung nach Sanierungsalternativen liefert jeder Anbieter/Planer die notwendigen Modellteile zu seinem Konzept. Sinnvoll erscheint hierbei der Einsatz neutraler Planungsfirmen für die Revision der Daten. Eine Aufteilung nach Fachbereichen und Vergabe an Spezialfirmen ist für Kriterien sinnvoll, die zu ihrer Quantifizierung komplizierte Modelle benötigen (z.B. Schadstoffemissionsprognose). Speziell die Aufteilung nach Sanierungsverfahren ist bei abstrakten Punktes-

kalen problematisch, weil eine konsistente Quantifizierung mit Punktwerten i.d.R. nur dann zu erreichen ist, wenn sie durch eine einzige Person vorgenommen wird.

Der wichtigste Vorteil der EA gegenüber herkömmlichen Verfahren ist die Fähigkeit zum **Umgang mit Informationsdefiziten und unsicheren Daten** (Forderung ii.). Eine Analyse der in Punktemethoden verwendeten Kriterien zeigt, daß viele dazu dienen, die in der Sanierungsentscheidung inhärent vorhandenen Informationsunsicherheiten darzustellen (u.a. Flexibilität, Reparatur- und Kontrollmöglichkeiten, Entwicklungsstand, Referenzen, Betriebssicherheit,). Die Verwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermöglicht es, diese Einflußfaktoren durch ihre Auswirkungen auf die grundlegenden Kriterien zu erfassen. Damit ergeben sich zum einen kleinere Kriterienlisten, zum anderen können die Risiken, die mit den verschiedenen Sanierungsverfahren verbunden sind, quantitativ dargestellt und bei der Entscheidung berücksichtigt werden.

Eine typische Risikosituation, die bei vielen Altlastfällen auftritt, ist in Abbildung 12. skizziert. Der Entscheider steht hier vor der Wahl zwischen einem sicheren Verfahren (Umlagerung), das jedoch relativ hohe Kosten verursacht (≈ 18 MDM) und einem neuentwickelten Verfahren (in-situ-Bodenwäsche), das gute Ergebnisse verspricht (Erwartungswert um 15 MDM), jedoch im Versagensfall zu sehr hohen Kosten führt (bis zu 25 MDM). Je nach Risikoeinstellung des Entscheiders kann er sich für die sichere oder die im Mittel preiswertere Variante entscheiden.

Ein anderer für die Sanierungsentscheidung wichtiger Punkt, der mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen bearbeitet werden kann, ist die Frage nach **Vorversuchen oder weiteren Gutachten** (Forderung vi.). Derartige Fragestellungen können im Rahmen der EA durch die Berechnung des Wertes zusätzlicher Informationen entschieden werden.

Neben den methodischen Vorteilen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen ergeben sich auch Vorteile für die Sanierungsfirmen bei den Angaben zu den Leistungsdaten ihrer Verfahren. Aufgrund der mangelnden Erfahrung bei der Altlastensanierung und wegen des in der Regel nur geringen Informationsstandes über die zu sanierende Altlast, ist es Sanierungsfirmen häufig nicht möglich, exakte Angaben zu den Ergebnissen ihrer Verfahren zu machen. Werden trotzdem exakte und verbindliche Werte bei der Angebotsabfrage eingefordert, so

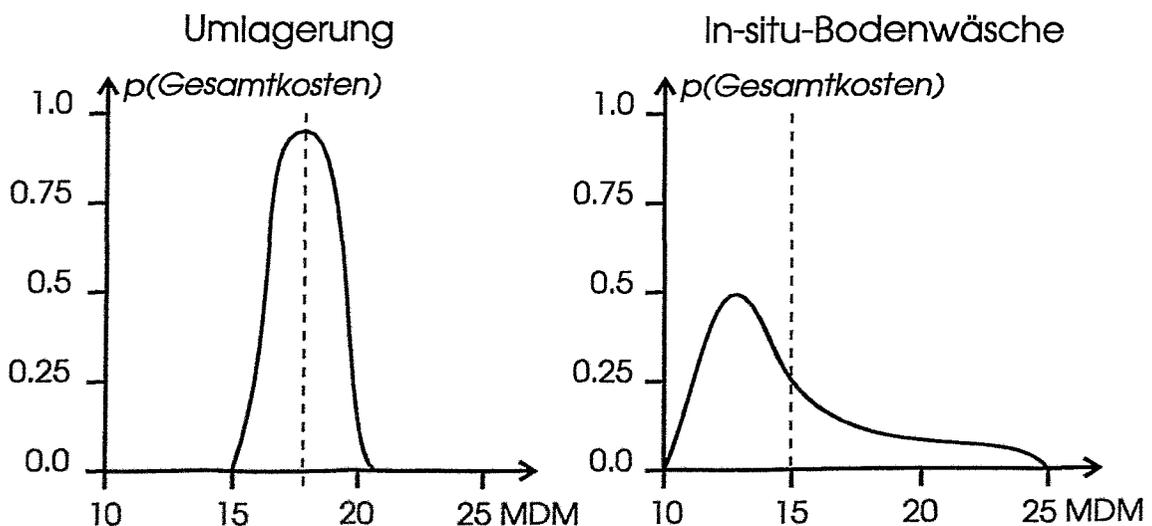


Abbildung 12. Entscheidungsproblematik: sicheres vs. neuentwickeltes Sanierungsverfahren

bleibt den Firmen nur die Möglichkeit, worst-case-Abschätzungen anzugeben, was die Wahrscheinlichkeit eines Zuschlages vermindert, oder aber Erwartungswerte bis hin zu optimistischen Prognosen anzugeben, um den Zuschlag zu erhalten. Da keine Sanierungsfirma willens ist, ein Sanierungsprojekt mit Verlust abzuschließen, sind Nachforderungen im letzten Fall vorprogrammiert. Daher ist es wichtig, den Firmen zumindest die Möglichkeit zur Angabe von Ergebnisspannen einzuräumen.

Im Rahmen der EA werden **multiattributive Entscheidungen** besonders umfangreich unterstützt (Forderung v.). Im Gegensatz zur Kosten-Nutzen-Analyse sind verschiedene Formen der Gesamtnutzenfunktion (additiv, multiplikativ, multilinear) verwendbar. Zahlreiche Techniken zur Ermittlung von Abwägungskonstanten und zur Ableitung von Implikationen (Forderung ix.) wurden im Rahmen der EA entwickelt. Besonders wichtig erscheint, daß durch die Bildung eines Gesamtindikators (durch Abwägung der Kriterien) eine vollständige Reihenfolge der Alternativen festgelegt wird. Dieses unterscheidet die EA von der Kosten-Nutzen-Analyse, bei der der äußerst wichtige Vergleich der monetären mit den nicht-monetären Aspekten nicht mehr unterstützt wird.

Die Bildung eines Gesamtindikators stößt in der Praxis auf zahlreiche Widerstände und Schwierigkeiten. Trotzdem ergeben sich mit dieser Vorgehensweise zahlreiche Vorteile, so daß der Aufwand dafür gerechtfertigt erscheint:

- Es ist eine Tatsache, daß nicht alle Kriterien gleichzeitig optimiert werden können. Deshalb sind bei Problemstellungen in denen gegensätzliche Ziele erreicht werden sollen (z.B. Kostenminimierung und Nutzungsoptimierung) Abwägungen zwischen den Kriterien unumgänglich.
- Die Erstellung eines expliziten, geschlossenen Entscheidungsmodells fördert das Nachdenken über eigene Entscheidungspräferenzen deutlich. Dabei sind es häufig gerade die Diskrepanzen zwischen numerischen Bewertungsergebnissen und subjektiven Empfindungen, die ein erweitertes Problemverständnis bewirken.
- Das Entscheidungsmodell kann offengelegt und von anderen Personen nachvollzogen werden. Dabei werden die notwendigen subjektiven Abwägungen als solche gekennzeichnet (Forderung vii.). Bei der Begründung der gewählten Abwägungen ist es insbesondere von Vorteil, wenn vollständige Gesamtnutzenfunktionen aus vorherigen Altlastfällen zur Verfügung stehen. Der Hinweis auf Konsistenz zu anderen Altlastenfällen vereinfacht die Begründung wesentlich.
- Des weiteren sind Gesamtnutzenfunktionen eine wichtige Basis für die Problemmunikation bei Mehrpersonenentscheidungen (Forderung viii.). Durch den Vergleich der personenspezifischen Abwägungen können relevante, dissente Punkte identifiziert werden (s. 7.2.).
- Schließlich wird erst durch die Definition einer Gesamtnutzenfunktion der erweiterte Leistungsumfang der EA (Untersuchungsmöglichkeiten, Bestimmung des Wertes zusätzlicher Informationen, Bewertung sequentieller Entscheidungen) nutzbar.

Schwachpunkte der EA sind bei den Forderungen nach der Unterstützung von Mehrpersonenentscheidungen (Forderung viii.) und nach der Allgemeinverständlichkeit der verwendeten Methodik (Forderung x.) zu verzeichnen. Die Unterstützung von Mehrpersonenentscheidungen werden in 7.2. kurz behandelt. Aspekte, die mit der Allgemeinverständlichkeit der Methodik zusammenhängen, werden ausführlich in 6.2. diskutiert.

4. Hilfsmittel für die Sanierungsentscheidung

Wie in Abschnitt 2.3. definiert, ist unter dem Begriff **Hilfsmittel** die Arbeitsumgebung zur Anwendung einer Methodik zu verstehen. In den beiden nachfolgenden Abschnitten sollen zwei verschiedene Arbeitsumgebungen und damit auch zwei prinzipiell unterschiedliche Anwendungsarten von entscheidungsunterstützenden Methodiken beschrieben und hinsichtlich der in 2.3. definierten Anforderungen untersucht werden. Es handelt sich hierbei zum einen um Hilfsmittel, die auf einer zentralen Wissensbasis beruhen (4.1.), und zum anderen um Hilfsmittel, die die Erstellung eines fallspezifischen Entscheidungsmodells vorsehen (4.2. und 4.3.).

4.1. Wissensbasierte Hilfsmittel

Bei der Erstellung von Hilfsmitteln, die auf einer der oben beschriebenen Methodiken (Anspruchsniveaus, Kosten-Nutzen-Analyse, EA) basieren, kann der Schwerpunkt auf die Führung des Anwenders durch das Entscheidungsproblem gelegt werden (s. 2.3.-i.). Dieser Ansatz kann über die eigentliche Bewertung hinaus auch auf die Alternativenerstellung und die Quantifizierung angewendet werden.

Dementsprechend ausgerichtete Hilfsmittel beinhalten als zentrale Struktur eine Wissensbasis, die die notwendigen Fachinformationen und Bewertungsmaßstäbe/-algorithmen enthält (s. Abb. 13.). Sie werden daher im folgenden als **wissensbasierte Hilfsmittel** bezeichnet. Die Mehrzahl der gegenwärtig für die Sanierungsuntersuchung verfügbaren entscheidungsunterstützenden Systeme verwendet diesen Ansatz /Neteler-95, Selke-93, LfU-94, Zarth-93, Bracke-92, Gehrke-93, Nowak-96/.

Die Anwendung derartiger Hilfsmittel besteht aus folgenden Schritten:

- Das System verlangt vom Benutzer die Eingabe von fallspezifischen Informationen über die betrachtete Altlast sowie von Gewichtungen für die zu betrachtenden Kriterien. Diese Gewichtungen sind durch den Sanierungsplaner, durch die Projektbeteiligten oder durch neutrale Gutachter festzulegen.
- Anhand der Falldaten werden von den im System gespeicherten Sanierungsverfahren die ausgewählt, die technisch realisierbar sind. Die dazu nötigen Fachinformationen sind einmalig durch kompetente Stellen (Sanierungsexperten) in das System einzugeben.
- Die verbleibenden Verfahren werden dann anhand der Kriterien quantifiziert, wobei häufig einfache Punkteskalen Verwendung finden. Diese Quantifizierung wird unterstützt durch systeminterne Informationen, durch den Sanierungsplaner oder durch neutrale Gutachter.
- Auf der Basis dieser Informationen und der Gewichtungen werden dann durch systemintern vorgegebene Berechnungsalgorithmen Bewertungskennzahlen für alle Sanierungsverfahren berechnet.

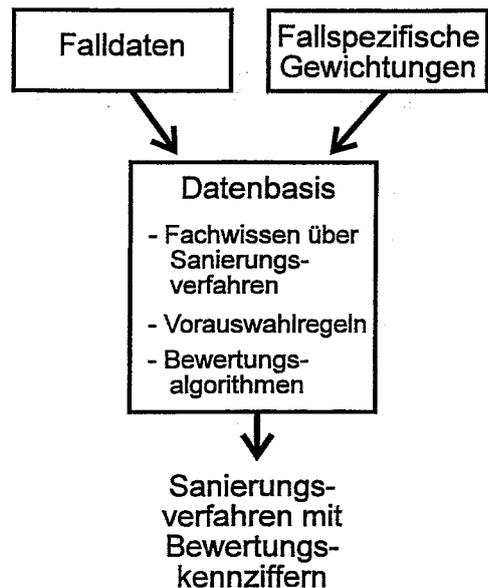


Abb. 13. Struktur wissensbasierter Systeme

- Als Ergebnis liefert das wissensbasierte System eine Liste mit realisierbaren Sanierungskonzepten, die durch Bewertungskennzahlen charakterisiert sind.

Die Stärke des wissensbasierten Systems ist die Führung des Anwenders durch das Sanierungsproblem. Durch das systeminterne Wissen ist es auch für Nichtfachleute anwendbar. Es wäre sogar denkbar, daß bei Standardsanierungsfällen (z.B. Tankstellengelände) durch wissensbasierte Systeme ein Großteil der zu treffenden Entscheidungen automatisiert werden könnten. In Verbindung mit der planerischen Vorgehensweise (s. 6.4.3.1.) bietet das wissensbasierte System Anhaltspunkte für eine schematisierte Abarbeitung des Sanierungsfalles. Durch das festgelegte Entscheidungsschema wird sowohl dem planenden Unternehmen als auch dem Projektträger und den genehmigenden Behörden eine standardisierte Anleitung zur Verfügung gestellt. Dies reduziert den Aufwand für die Entscheidungsvorbereitung und -findung und macht die Entscheidung nachvollziehbarer (s. 2.3.-x.). Wissensbasierte Systeme in Verbindung mit einer planerischen Vorgehensweise sind insbesondere bei der Vielzahl von kleinen Standardsanierungsfällen von Vorteil.

Die Vorteile, die aus der internen Wissensbasis und dem festgelegten Bewertungsschema resultieren, werden jedoch durch eine Reihe von Nachteilen erkauft:

- Es ist fraglich, ob eine derartige Wissensbasis mit umfassenden, detaillierten Informationen zu allen Sanierungsverfahren, d.h. etablierten und im Probestadium befindlichen, wirklich erstellt werden kann. Sanierungsfirmen werden interne Daten ihrer Verfahren lediglich im Zuge von Ausschreibungen preisgeben. Über neue und innovative Verfahren liegen oft überhaupt keine Erfahrungen vor. Um die Verwendbarkeit der statischen Wissensbasis zu erhalten, wäre eine ständige Aktualisierung notwendig. Eine dynamische Wissenserweiterung durch Anbieterangaben erscheint organisatorisch und rechtlich problematisch.
- Wissensbasierte Systeme lassen im Extremfall den Wettbewerb bei der Bewertung völlig außer acht. Die wichtigste Bewertungsinformation für die Verfahren sind die Kosten. Diese sind jedoch infolge des sich dynamisch verändernden Marktes und des auf ihm herrschenden Wettbewerbs sehr variabel und extern nicht kalkulierbar, so daß die aufgrund einer statischen Wissensbasis prognostizierten Kosten lediglich den Charakter einer groben Prognose haben können und somit für die endgültige Sanierungsentscheidung kaum ausreichend sind.
- Die Vorgabe der Bewertungsmethodik wirft weitere Probleme auf. So wird durch sie eine Anpassung an veränderte Entscheidungsgegenstände verhindert (vgl. 2.3.-i.). Z.B. ist es häufig sinnvoll, die weitere Folgenutzung des sanierten Standortes mit dem Sanierungsverfahren zusammen festzulegen. Auch die Verhältnismäßigkeit der Sanierung (Sanierung oder Absperrung) kann Entscheidungsgegenstand sein. Eine starre Methodik kann dieser Tatsache nicht Rechnung tragen. Als Ausweg aus dieser Problematik werden wissensbasierte Hilfsmittel lediglich für ein eng eingegrenztes Entscheidungsgebiet konzipiert und somit wird vorab eine Reduktion der Problemkomplexität erreicht. Die häufigste Einschränkung, die dabei gemacht wird, ist die Festlegung der Flächennutzung. Eine andere Einschränkung besteht darin, nicht mehr alle Sanierungstechnologien zu vergleichen, sondern nur noch Mitglieder einer Verfahrensgruppe (z.B. nur Dekontaminationsverfahren oder nur Sicherungsverfahren). Es lassen sich damit einfacher Kriterien festlegen. Schließlich können in einigen Systemen nicht mehr konkrete Angebote von Firmen bewertet, sondern nur noch vorgegebene Sanierungstechnologien gegeneinander verglichen.

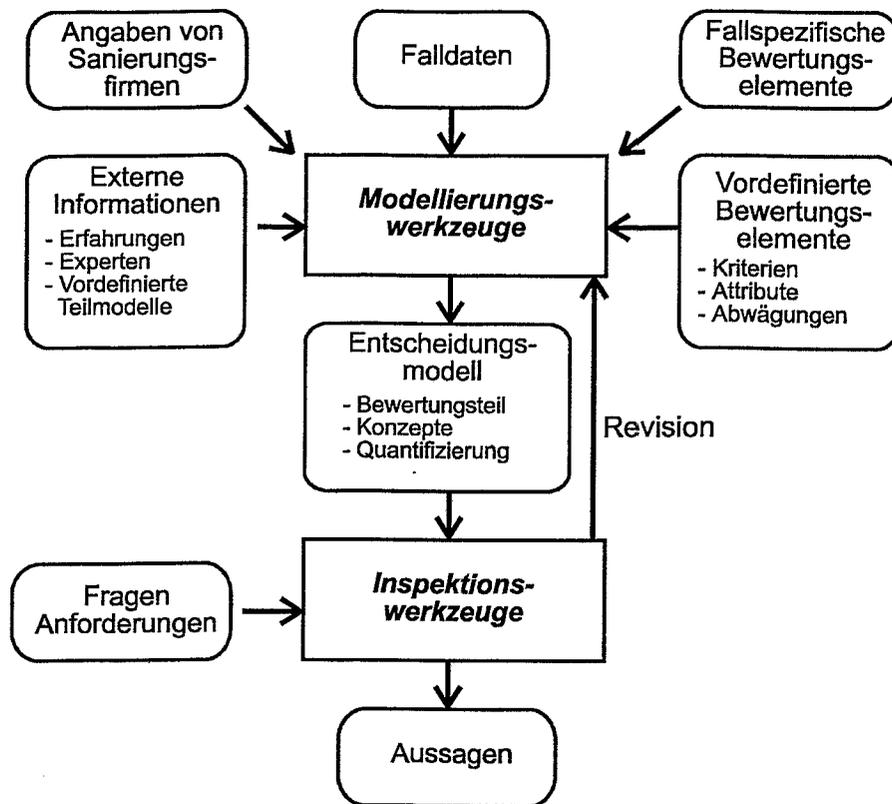


Abbildung 14. Struktur modellorientierter Hilfsmittel

Somit entfällt die Notwendigkeit, dynamisch auf externe Informationen reagieren zu müssen.

- Vorgegebene Bewertungsschemata werden von vielen Beteiligten nicht akzeptiert (2.3.-vii.). Gerade Kriteriensysteme, die den Anspruch auf Allgemeingültigkeit erheben, enthalten für konkrete Anwendungsfälle oft viele, unwichtige Kriterien, wohingegen relevante Bewertungsaspekte nur sehr pauschal behandelt werden.
- Ein statisches Bewertungssystem ist mit einer iterativen Entscheidungsfindung mit schrittweisem Verfahrensausschluß, Verfeinerung der Kriterien und der Verbesserung der Verfahrensbewertungen durch Gutachten (2.3.-vi.) nur schwer vereinbar. Da sich das Bewertungssystem nicht an wachsende Informationsmengen anpassen kann, wird der Entscheidungsvorgang häufig auf einen einmalig zu durchlaufenden Prozeß reduziert.

4.2. Modellorientierte Hilfsmittel

Die modellorientierten Hilfsmittel zielen darauf ab, ein adäquates, fallspezifisches Modell des vorliegenden Entscheidungsproblems zu erstellen. Die entstehenden Modelle lassen sich flexibel an das Entscheidungsproblem anpassen (vgl. 2.3.-i.). Sie gestatten die Darstellung des aktuellen Wissens, wobei Teilmodelle vorheriger Fälle nach der Prüfung auf Übertragbarkeit wiederverwendet werden können. Eine iterative Modellverfeinerung und Reduktion der zur Auswahl stehenden Sanierungskonzepte ist mit diesen Systemen möglich.

Der Kern des modellorientierten Systems (s. Abb. 14.) ist ein **Entscheidungsmodell** für das anstehende Problem (zur Struktur s. Abb. 8., Abschn. 3.13. und 4.3.). Zur Erstellung des Entscheidungsmodells stehen **Modellierungswerkzeuge** zur Verfügung, die eine Umsetzung externer Informationen in die internen Strukturen gestatten. Entscheidend ist, daß jeweils ein fallspezifisches Modell erstellt wird. Dies bedeutet insbesondere, daß die Ansichten der an dem konkreten Altlastenfall beteiligten Entscheider Berücksichtigung finden (2.3.-vii.).

Mit **Inspektionswerkzeugen** können aus dem Entscheidungsmodell Ergebnisse und Begründungen abgeleitet werden. Diese geben Hinweise auf weitere, sinnvolle Maßnahmen (z.B. der Ausschluß von Angeboten, Verfeinerung relevanter Modellteile, Streichung irrelevanter Teile, Ermittlung zusätzlicher Informationen, Durchführung eines Sanierungskonzeptes). Idealerweise sollte die Anwendung modellorientierter Hilfsmittel ein Wechselspiel aus Modellrevision und Inspektion sein.

Die Stärken der modellorientierten Hilfsmittel liegen in ihrer Anpassungsfähigkeit an den jeweiligen Entscheidungsfall und den vorhandenen Informationsstand. So lassen sich die für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Bewertungsaspekte detailliert modellieren, wobei die verschiedenen Entscheidungsperspektiven der beteiligten Personen in einem einheitlichen Modell dargestellt und verglichen werden können. Da sich das Modell flexibel an die vorhandenen Informationen anpassen läßt, ist eine iterative Entscheidungsfindung sowie die Berücksichtigung von Anbieterangaben und damit auch der Vergleich von Angeboten durchführbar.

Modellorientierte Hilfsmittel stellen jedoch hohe Anforderungen an den Anwender, so daß diese nur durch qualifizierte Personen zu benutzen sind (2.3.-x.). Daher können die Beteiligten bei einer Sanierung nicht direkt mit dem System arbeiten, sondern es bedarf stets der Hilfe eines mit dem System vertrauten Experten. Als direkte Anwender kommen deshalb nur spezialisierte Ingenieurbüros zur Vorbereitung und Präsentation von Entscheidungen in Frage. Wie die daraus entstehenden Probleme gelöst werden können, ist im Abschnitt 6.1.2.1. beschrieben.

Der Aufwand zur Entscheidungsvorbereitung mit modellorientierten Hilfsmitteln ist deutlich größer als mit wissensbasierten Hilfsmitteln. Deshalb sind diese vorwiegend bei größeren, komplexeren Objekten einzusetzen, wo ein erhöhter Aufwand zur Entscheidungsfindung und -optimierung gerechtfertigt ist. Weiterhin ist der Einsatz auf die späteren Phasen der Entscheidungsfindung beschränkt, wenn die Zahl der zu betrachtenden Konzepte soweit reduziert wurde, daß eine Modellierung der verbleibenden Konzepte mit vertretbarem Aufwand machbar ist.

4.3. Darstellung der verwendeten Hilfsmittel

Die Ergebnisse der beiden vorangegangenen Abschnitte legen die Verwendung modellorientierter Hilfsmittel für die Anwendung der EA bei Sanierungsentscheidungen nahe. Im folgenden sollen drei verschiedenen Techniken (Entscheidungsbäume, Influenzdiagramme und Funktionsnetzwerke) zur Erstellung von Entscheidungsmodellen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Sanierungsentscheidungen diskutiert werden. In den anschließenden Unterabschnitten wird das verwendete Programmsystem vorgestellt.

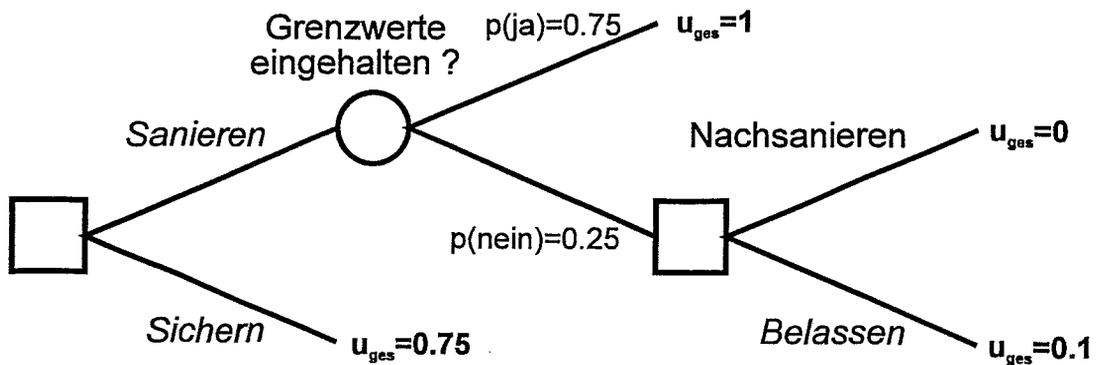


Abbildung 15. Sequentielles Entscheidungsproblem dargestellt mit einem Entscheidungsbaum

Das wohl etablierteste Hilfsmittel zur Entscheidungsstrukturierung sind **Entscheidungsbäume**⁴³ (s. Abb. 15.). Sie dienen zur graphischen Darstellung der Handlungs- und Ereignisstrukturen des betrachteten Problems und bestehen aus zwei Grundelementen:

- Die **Entscheidungsknoten** (Quadrate) repräsentieren Zustände, in denen eine Entscheidung möglich ist. Die verschiedenen Handlungsalternativen sind durch die Zweige, die vom Entscheidungsknoten abgehen, dargestellt. Diese können entweder zu **Endergebnissen** (fett, hier charakterisiert durch den Gesamtnutzen u_{ges}) oder zu Zufallsknoten (Kreise) führen.
- Die **Zufallsknoten** repräsentieren Zustände, in denen der weitere Handlungsverlauf durch zufällige Ereignisse, die mit gewissen Wahrscheinlichkeiten auftreten, bestimmt wird. Die von den Zufallsknoten abgehenden Zweige können zu neuen Entscheidungsknoten, zu Zufallsknoten oder zu Ergebnissen führen.

Nachdem sämtliche Endergebnisse und die Wahrscheinlichkeiten der Zufallsknoten bestimmt wurden, wird eine sogenannte Roll-Back-Berechnung durchgeführt. Dabei wird den Entscheidungsknoten das Maximum der Gesamtnutzenerwartungswerte aller seiner Zweige als Nutzen zugewiesen. Für die Zufallsknoten wird der Nutzenerwartungswert ihrer Zweige berechnet. Für das skizzierte Beispiel hätte somit die Entscheidung (Nachsanieren, Belassen) den Nutzen $u_{ges}=0.1$, der Zufallsknoten ("Grenzwerte eingehalten?") $0.775 = 0.75 \times 1 + 0.25 \times 0.1$. Die Basisentscheidung besteht somit aus der Alternative 'Sichern', die zu einem Nutzen von $u_{ges}=0.75$ führt und der Alternative 'Sanieren', die zu einem Zufallsknoten mit dem Nutzen $u_{ges}=0.775$. Die letzte Alternative wäre somit günstiger und würde empfohlen. Bemerkenswert ist, daß die Alternative 'Sanieren' implizit ein verzögertes Entscheidungsproblem (Nachsanieren oder Belassen) enthält, dessen Nutzen zur Berechnung der Hauptentscheidung verwendet wird (vgl. 3.11.). Es handelt sich hier somit um ein sequentielles Entscheidungsproblem.

Die Stärken der Problemstrukturierung mit Entscheidungsbäumen liegen in der Anschaulichkeit der erhaltenen Aussagen. Einfache Entscheidungssituationen können intuitiv leicht erfaßt werden. Der jeweilige Wissensstand und die optimale Alternative sind direkt ablesbar. Weiterhin sind sequentielle Entscheidungen einfach darstellbar und berechenbar. Für die

⁴³ Weitere Literatur zu Entscheidungsbäumen findet sich in: /Raiffa-68, Haimes-90, Brown-78/. Ein interessanter Vergleich zwischen verschiedenen Techniken und Implementationen von EA-Modellierungshilfsmitteln ist in /Call-90/ enthalten. Eine Erweiterung von Entscheidungsbäumen zu Handlungsnetzwerken wird im Abschnitt 7.1. vorgestellt.

Sanierungsentscheidung bedeutet das, daß der Nutzen aus vorbereitenden Machbarkeitsstudien und Gutachten mit Entscheidungsbäumen berechenbar sind.

Leider ist die Visualisierung von Entscheidungsproblemen mit Hilfe von Entscheidungsbäumen nur für Probleme mit relativ wenigen Zufallsgrößen sinnvoll. Falls viele Zufallsgrößen für die Entscheidung wichtig sind, wie dies bei Sanierungsentscheidungen häufig der Fall sein dürfte (2.3.-ii.), steigt die notwendige Zeit zur Roll-Back-Analyse stark an und der übersichtliche Entscheidungsbaum verwandelt sich in ein Dickicht.

Die Quantifizierung der Alternativen und die Erstellung von multiattributiven Gesamtnutzenfunktionen werden durch Entscheidungsbäume nicht unterstützt. Die zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten und Nutzen der Endergebnisse verwendeten Berechnungsmodelle und Bewertungssysteme sind nicht mit Entscheidungsbäumen darstellbar, sondern müssen separat dokumentiert werden (2.3.-iv. und v.). Das macht die Behandlung von multiattributiven Problemen unanschaulich (2.3.-iii.).

Ein anderes Hilfsmittel zur Modellierung von Entscheidungsproblemen sind **Influenzdiagramme** /Shachter-86, Jae-92, Hong-93/. Diese stellen die Beziehungen zwischen Informationen (z.B. Ergebnisse auf Kriterien und Einflußgrößen) und Entscheidungen graphisch in einem Netzwerk dar. Die Berechnung von Influenznetzwerken erfolgt durch eine schrittweise Reduktion der Netzknoten. Als Endergebnis liegen die Erwartungswerte für die Alternativen der Entscheidungsknoten vor.

Der Vorteil der Influenzdiagramme liegt gegenüber den Entscheidungsbäumen in der übersichtlichen Darstellung probabilistischer Zusammenhänge. Die funktionalen Zusammenhänge sind unmittelbar ersichtlich (2.3.-iv.). Da jede Zufallsvariable nur durch einen Knoten repräsentiert wird, können im Vergleich zu Entscheidungsbäumen größere, probabilistische Modelle aufgebaut und berechnet werden (2.3.-ii.).

Problematisch an Influenzdiagrammen ist, daß sie viele interne Strukturen (z.B. die möglichen Handlungsalternativen an einem Entscheidungsknoten) nicht explizit darstellen. Daher sind sie bei der Präsentation der Berechnungsergebnisse bei weitem nicht so anschaulich wie Entscheidungsbäume (2.3.-x.). Weitere Probleme treten ebenso wie bei Entscheidungsbäumen im Falle von Mehrpersonenentscheidungen (2.3.-viii.) und bei multiattributiven Entscheidungen (2.3.-iii.) auf.

Insbesondere zur probabilistischen Modellierung der Zielgrößen einer Entscheidung wurden **Funktionsnetzwerke** /Morgan-90/ entwickelt. (s. Abb. 16.). Sie bestehen aus Eingangsgrößen, über die eine Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert ist und aus funktional abhängigen Größen. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der abhängigen Größen erfolgt i.d.R. mit Monte-Carlo-Methoden. Mit Funktionsnetzwerken können ähnlich wie mit Influenzdiagrammen einfach funktionale und probabilistische Zusammenhänge vieler Zufallsgrößen modelliert und übersichtlich dargestellt werden (2.3.-ii. und iv.). Da es möglich ist, auch mehrere Zielgrößen gleichzeitig zu modellieren, sind Funktionsnetzwerke besonders für multiattributive Probleme verwendbar (2.3.-iii.). Über diese Grundfunktionalität hinaus eignen sich Funktionsnetzwerke sehr gut, um mit ihnen das Entscheidungsmodell zu strukturieren (s. Abb. 16., vgl. Abb. 6.). So läßt sich die in Abschnitt 3.13. nahegelegte Trennung

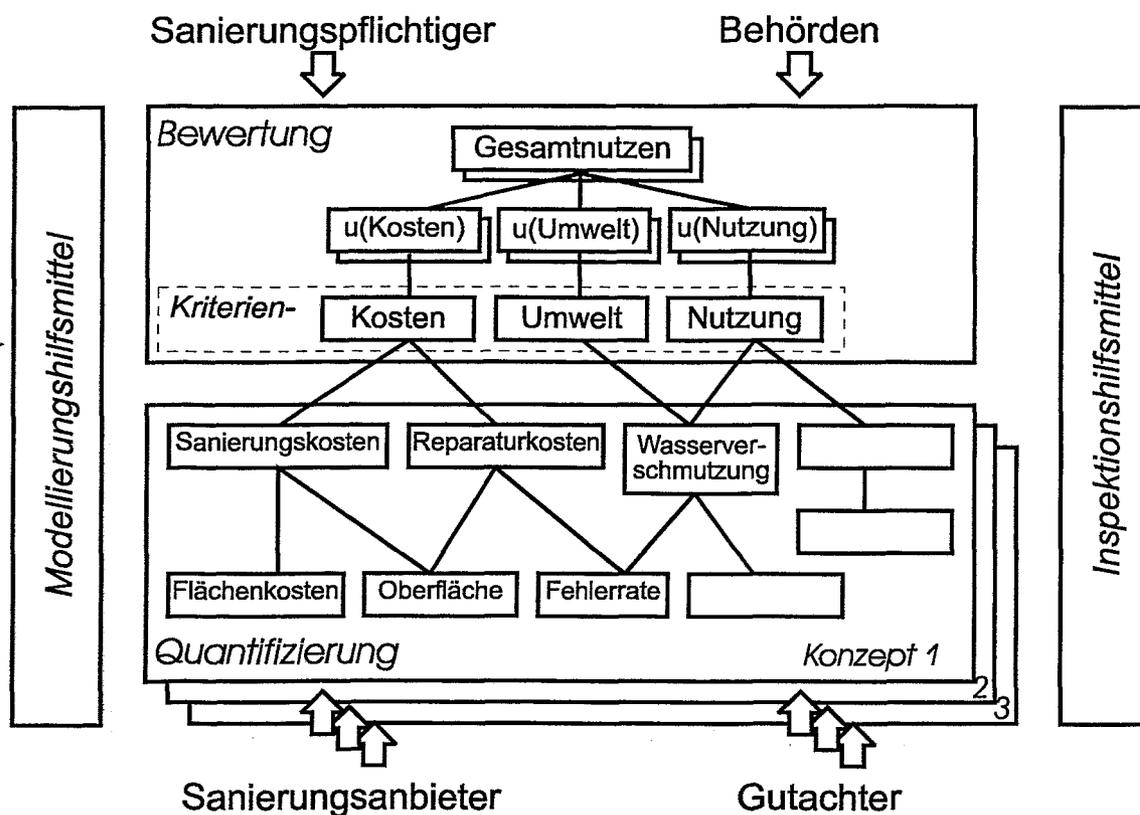


Abbildung 16.: Struktur des Entscheidungsmodells auf der Basis von Funktionsnetzwerken

zwischen Bewertung und Quantifizierung gut realisieren. Als Schnittstelle zwischen beiden Teilen fungiert die Kriterienliste.

Zur Quantifizierung der Kriterien können für jede Handlungsalternative separate Funktionsnetzwerke erstellt werden (gestaffelte, untere Rahmen). Diese beinhalten Berechnungsmodelle für die Kriterien. Unsichere Eingangsdaten (u.a. 'Flächenkosten') werden in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen eingegeben. Mögliche Ereignisse (z.B. Leckagen in der Dichtwand parametrisiert durch die Anzahl der aufgetretenen 'Fehler' in der Dichtwand innerhalb von 10 Jahren pro Hektar Dichtfläche) können mit ihren Auswirkungen auf die Kriterien erfaßt werden. Diese können sich unmittelbar (z.B. 'Wasserverschmutzung' durch Schadstoffaustritt) oder als Folge von Handlungen (z.B. 'Reparaturkosten' durch Reparaturmaßnahmen) ergeben. Mit den Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Eingangsgrößen und den funktionalen Zusammenhängen können die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kriterien berechnet werden.

Auch der Bewertungsteil kann mit Funktionsnetzwerken sinnvoll strukturiert werden. Aus Abb. 16. ist die Transformation der Kriterien durch Nutzenfunktionen ($u(\text{Kosten})$, $u(\text{Umwelt})$, $u(\text{Nutzung})$) und die Zusammenfassung zum Gesamtnutzen erkennbar. Mehrpersonenentscheidungen können durch Eingabe mehrerer Bewertungssysteme (gestaffelte, obere Elemente⁴⁴) unterstützt werden (2.3.-viii.).

⁴⁴ Als **Element** werden im folgenden alle Arten von Informationen (Kriterien, Nutzenfunktionen, Gesamtnutzenfunktion, Eingangsdaten, Zwischengrößen) bezeichnet, die Teil des Entscheidungsmodells sind und die mit den in 4.3.2. beschriebenen Datenstrukturen (p-, ft-, ff-, l-Elemente) dargestellt werden.

Mit Funktionsnetzwerken lassen sich jedoch lediglich Informationszusammenhänge darstellen. Einmal sind in ihnen keine Verfahrensbeschreibungen der alternativen Sanierungskonzepte enthalten. Diese müssen separat erstellt und dokumentiert werden. Weiterhin sind Entscheidungsknoten nicht Teil von Funktionsnetzen, so daß hier übergeordnete Strukturen notwendig sind. Daher lassen sich sequentielle Entscheidungen mit Funktionsnetzwerken nicht direkt darstellen. Eine Kombination von Funktionsnetzwerken mit Entscheidungsbäumen, die dieses Problem löst, wird im Abschnitt 7.1. vorgestellt. Gemäß der Charakterisierung von Sanierungsentscheidungen aus Abschnitt 2.2. wurde davon ausgegangen, daß für den zu betrachtenden Anwendungsfall (s. Kap. 5.) die Einstufigkeit von Sanierungsentscheidungen in guter Näherung gilt. Dementsprechend wurde die Funktionalität des entwickelten Programmsystems angelegt.

4.3.1. Voraussetzungen für die Anwendung des Programmsystems

Zur Anwendung der EA bei Sanierungsentscheidungen unter Nutzung von Funktionsnetzwerken wurde ein Programmsystem entwickelt. Gegenüber anderen, allgemeinen Programmsystemen zum Aufbau probabilistischer Modelle⁴⁵ zeichnet es sich durch folgende Charakteristika aus:

- Ausrichtung des Programmsystems auf die im vorherigen Abschnitt beschriebene Struktur des Entscheidungsmodells;
- Komfortable Eingabe und Visualisierung der Effekte von Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu Demonstrationszwecken;
- Unterstützung bei der Erstellung von eindimensionalen Nutzenfunktionen und Gesamtnutzenfunktionen;
- Gleichzeitige Darstellung mehrerer Bewertungssysteme;
- Bereitstellung komfortabler Modellierungs- und Inspektionshilfsmittel.

Zur Anwendung des Programmsystems für einen Altlastenfall ist in der Regel eine vermittelnde Person, im folgenden **Anwender** genannt, notwendig. Diese Aufgabe kann durch den im Abschnitt 6.2.1. beschriebenen Projektbegleiter übernommen werden. Das bedeutet, die beteiligten Personen (Sanierungsverantwortlicher, Behörden, Sanierungsplaner) sollten nicht selbständig mit dem Programmsystem arbeiten, sondern stets nur mit Unterstützung⁴⁶.

Der Anwender muß zumindest über grundlegende Kenntnisse im jeweiligen Anwendungsbereich verfügen. D.h. er muß entweder selbständig oder in Zusammenarbeit mit Experten des Fachgebietes sinnvolle Entscheidungsmodelle erstellen können. Zusätzlich sind Kenntnisse der entscheidungsanalytischen Grundlagen notwendig. Bevor das Programm sinnvoll eingesetzt werden kann, müssen das zu betrachtende Problem klar definiert (Entscheidungsgegenstand, Randbedingungen), die Kriterienliste erstellt und Sanierungsalternativen ausgearbeitet werden.

⁴⁵ Z.B. ANALYTICA, DEMOS, DATA, DPL, HUGIN, NETICA, STRATEGIST. Informationen zu diesen Programmen können den Web-Pages der jeweiligen Anbieter entnommen werden.

⁴⁶ Modifikationen des Entscheidungsmodells sollten nur von qualifizierten Personen durchgeführt werden. Es ist allerdings möglich, das Modell zur selbständigen Einarbeitung den Beteiligten zur Verfügung zu stellen. Das kann nach einer Grundeinweisung erfolgen. Deshalb wurde als Plattform für die Implementation der PC gewählt.

4.3.2. Aufbau und Datenstrukturen

Der Aufbau des entwickelten Programmsystems entspricht den in Abb. 16. gezeigten Strukturen. Die zentralen Datenstrukturen sind die Funktionsnetze für die Quantifizierung der Handlungsalternativen und des Bewertungssystems. Zur Erstellung dieser Datenstrukturen stehen Modellierungshilfsmittel zur Verfügung, zur Inspektion der Ergebnisse passive und aktive Hilfsmittel.

Die verschiedenen Ebenen von Datenstrukturen des verwendeten Systems zeigt Abbildung 17. Die **Alternativen-Netze** enthalten die Quantifizierung der Handlungsalternativen und Kopien der Bewertungssysteme. **Globale Netze** enthalten die alternativenunabhängigen Informationen (z.B. die Falldaten: Altlastvolumen, Inhaltsstoffe, hydraulische Umgebung etc.).

Die Bewertungssysteme sind in den **Template-Netzen** enthalten. Diese Netze haben die besondere Eigenschaft, über t-Elemente (s.u.) einfach in andere Netze einfügbar zu sein, wobei eine automatische Aktualisierung der Kopien durchgeführt wird, wenn das dazugehörige Template-Netz sich ändert. Mit diesem Mechanismus lassen sich Veränderungen der Bewertungssysteme einfach austesten.

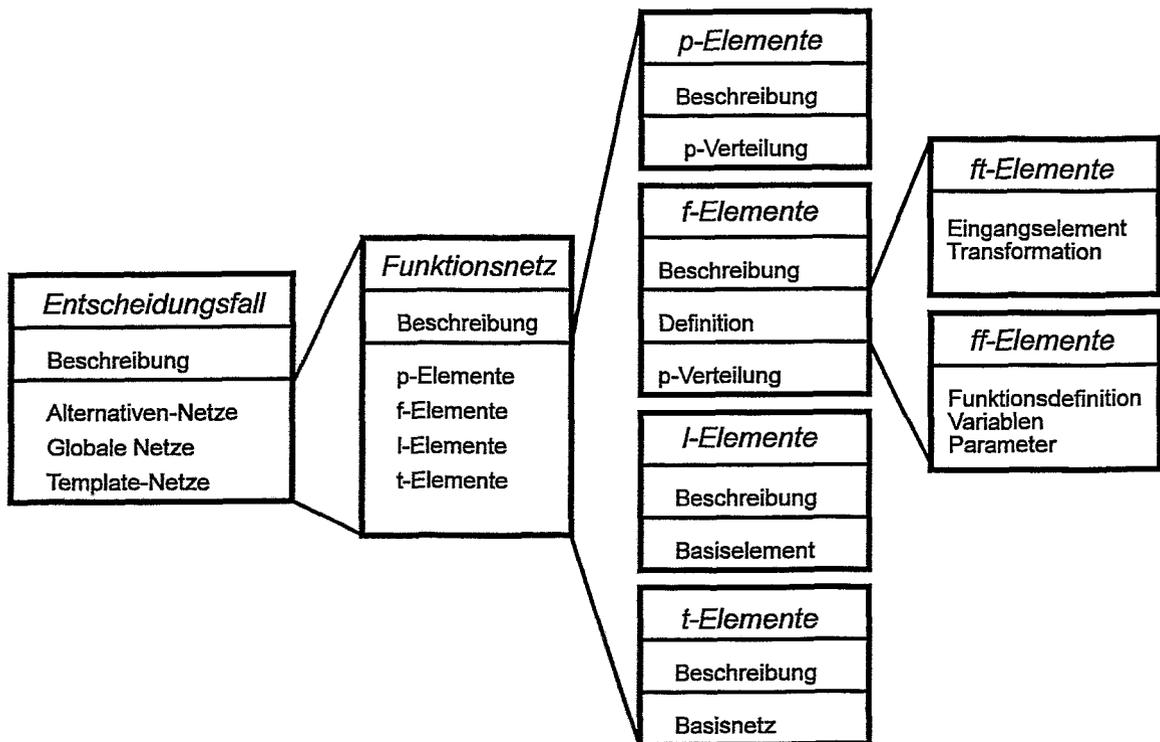


Abbildung 17. Datenstrukturen des Programmsystems

Die Funktionsnetze bestehen aus verschiedenen Elementen:

1. **p-Elemente** stellen unabhängige Eingangsgrößen dar (in Abb. 16. u.a. die 'Spezifischen Flächenkosten', die 'Altlastoberfläche' und die 'Fehlerrate'). Über sie sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen (p-Verteilungen) zu definieren. Die dafür notwendigen Daten können aus Meßergebnissen, statistischen Daten und subjektiven Einschätzungen stammen. Die p-

Verteilungen werden dabei als (kumulative) Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen eingegeben (s. Abb. 18.).

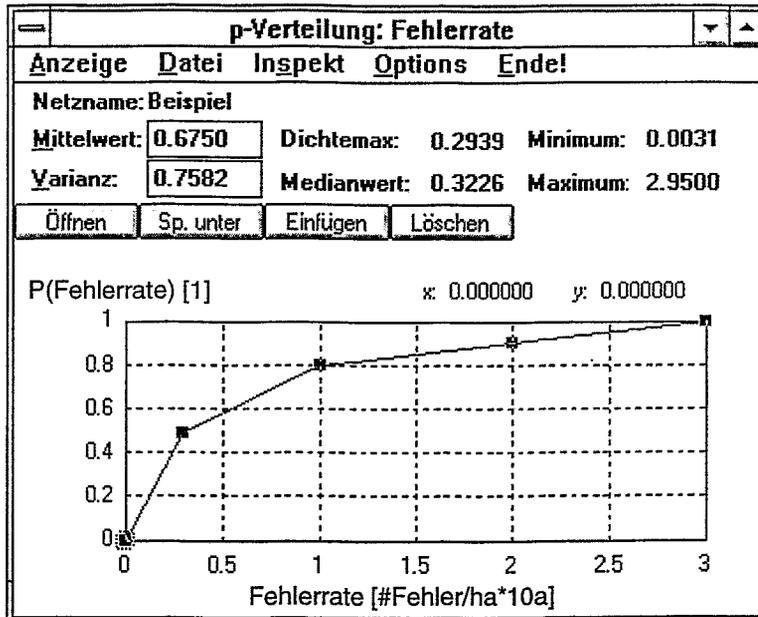


Abbildung 18. p-Verteilung über die geschätzte Anzahl der auftretenden Fehlstellen in der Dichtwand innerhalb von 10 Jahren nach der Errichtung pro Hektar Dichtfläche.

2. **f-Elemente** hängen funktional von anderen Elementen ab. Aus den Verteilungen der Eingangsgrößen wird ihre abgeleitete p-Verteilung berechnet (s. Abschn. 4.3.4.).
- 2.1. Transformationsfunktionen (**ft-Elemente**, in Abb. 16. u.a. 'u(Kosten)') dienen zur graphischen Darstellung von einfachen, nichtlinearen Abhängigkeiten. Der Einsatzbereich dieser Elemente liegt insbesondere in der Darstellung von eindimensionalen Nutzenfunktionen (s. Abb. 19., s.a. 3.8.).

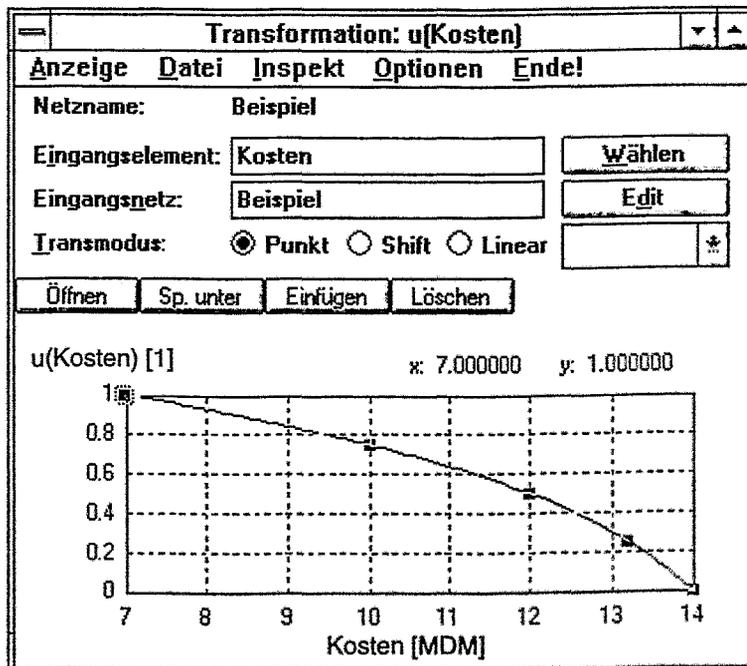


Abbildung 19. Nutzenfunktion über die 'Kosten'.

- 2.2. Formelelemente (**ff-Elemente**, in Abb. 16. u.a. 'Reparaturkosten') werden für die Darstellung funktionaler Zusammenhänge verwendet (s. Abb. 20.: Reparaturkosten = Fehlerrate · Fläche · Spez. Reparaturkosten).

Formelfunktion: Reparaturkosten	
I	V P W N Comp! DLL Insp Opt Ende!
Netz:	Beispiel
DLL:	C:\D2\ADOKTOR\ADOKTO000.dll
Zeichen:	K_rep
Einheit:	MDM
Formel: Ctrl-Enter für neue Zeile	
$K_rep = f * A * k_rep$	

Abbildung 20. Beispiel für eine einfache Formelfunktion.

Die eingegebene Formel wird in ein C-Programm transformiert, über einen externen Compiler in eine Programmbibliothek compiliert und dynamisch in das Programm eingebunden. Mit dieser Vorgehensweise ist sichergestellt, daß der Benutzer das Programm nicht verlassen muß und dennoch ein schneller Programmcode für Berechnungen zur Verfügung steht. Es ist auch möglich, vordefinierte Programme einzubinden. Damit können extern definierte, umfangreichere Rechenprozeduren an das Entscheidungsprogramm angekoppelt werden. Die externen Prozeduren müssen als Programmbibliothek vorliegen, über eine einfache Ein- und Ausgabe verfügen und genügend schnell ablaufen.

3. **I-Elemente** (s. Abb. 21.) gestatten die Verwendung von Elementen anderer Netze. Das ist insbesondere aus Gründen der Übersichtlichkeit bei der Benutzung von globalen, d.h. nicht von Alternativen abhängigen Größen sinnvoll.

Link: Altlastoberfläche	
Anzeige	Basis Inspekt Option Ende!
Netzname:	Beispiel
Eingangselement:	Altlastoberfläche
Eingangnetz:	Altlastdaten

Abbildung 21. Verweis auf eine globale Information mit I-Elementen

4. Im Zuge der Anwendung des Programmsystems hat sich gezeigt, daß insbesondere eine schnelle Analyse von Änderungen im Bewertungsteil (z.B. Abwägungsparameter) sowie der Vergleich verschiedener Bewertungsmodelle (für die verschiedenen Personengruppen) sehr wichtig ist. Das System ist so gestaltet, daß sich dieses durch die Einbindung von **t-Elementen** in die Alternativen-Netze relativ einfach realisieren läßt. Durch das t-Element wird eine Kopie des jeweilig referenzierten Bewertungsnetzes im Alternativen-Netz erzeugt.

Die Grundfunktionalität des Programmsystems beinhaltet das Erstellen und Verändern der oben beschriebenen Datenstrukturen mit Modellierungshilfsmitteln. Die Funktionsnetze werden graphisch dargestellt und ermöglichen somit einen schnellen Überblick über die funktionalen Abhängigkeiten. Alle Datenstrukturen können mit Dokumentationen versehen werden, so daß für andere Personen, die sich in das Entscheidungsmodell einarbeiten sollen, eine Beschreibung und Begründung der verwendeten Modelle verfügbar ist. Alle Daten-

strukturen können separat und in Teilen abgespeichert und dazugeladen werden. Damit wird die Nutzung separat erstellter Teile und die Wiederverwendung von Modellen aus vorherigen Sanierungsfällen möglich.

4.3.3. Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung abhängiger Elemente

Die primäre Aufgabe des Programmsystems besteht in der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die abhängigen Elemente. Das Hauptproblem dabei ist die Vielfalt möglicher Eingabedaten und funktionaler Zusammenhänge. So können die p -Verteilungen der Eingangsgrößen aus stetigen, differenzierbaren Verteilungen (z.B. analytischen Verteilungen, wie die Gauß-Verteilung) bis hin zu diskreten Werten (z.B. exakte Werte) bestehen. Die Spanne möglicher Funktionen reicht von linearen Zusammenhängen bis hin zu externen, komplexen Programmen. Somit schied eine analytische Berechnung der abgeleiteten p -Verteilungen zugunsten eines Monte-Carlo-Verfahrens aus.

Das für die Berechnung der p -Verteilungen verwendete MLHS-Verfahren (Midpoint Latin Hypercube Sampling) wurde speziell zur Analyse von Problemen entwickelt, bei denen trotz vieler, probabilistisch definierter Eingangsgrößen nur eine kleine Stichprobenzahl durchgeführt werden kann /Press-92/. Diese Eigenschaft ist bei der Verwendung von Funktionsnetzwerken sehr wichtig, da einige Programmteile (z.B. externe Programme) rechenintensiv sein können. Weiterhin zeichnet sich das MLHS gegenüber normalen Monte-Carlo-Verfahren durch glattere Ergebnisfunktionen und eine schnellere Konvergenz des berechneten Erwartungswertes gegen den wahren Erwartungswert bei Erhöhung des Stichprobenumfangs aus.

Beim MLHS wird für jede Eingangsgröße das Intervall möglicher Werte in gleichwahrscheinliche Teilintervalle zerlegt (s. Abb. 22.). Aus jedem Intervall wird wiederum der Wert ausgewählt, der es in zwei gleichwahrscheinliche Intervalle teilt. Die Liste dieser Werte wird gemischt und als Stichprobe verwendet. Abhängige Werte werden aufgrund der Stichproben der Eingangswerte berechnet. Die sich daraus ergebenden Ergebnisstichproben werden zur

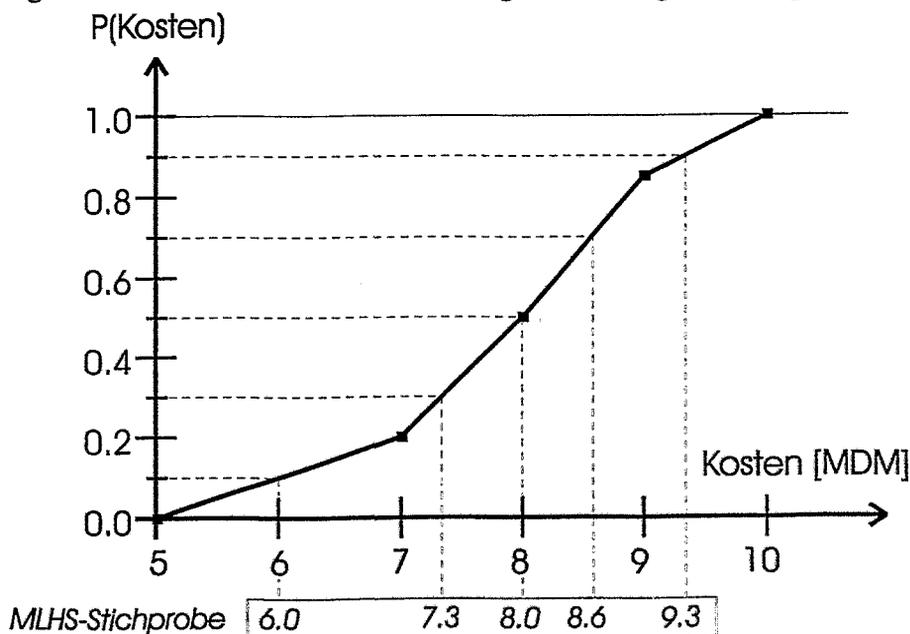


Abbildung 22. Ermittlung einer (ungemischten) MLHS-Stichprobe aus einer Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion.

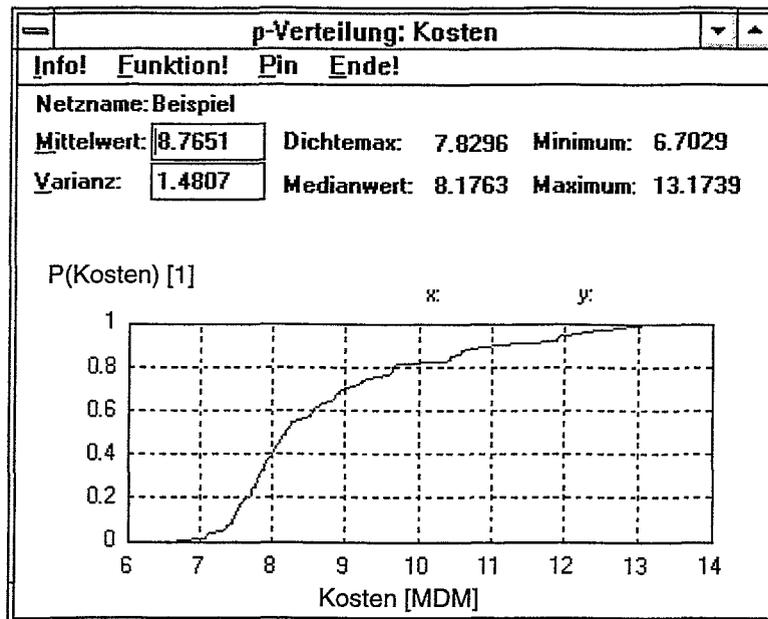


Abbildung 23. Berechnete p-Verteilung der Reparaturkosten

weiteren Verwendung jedoch nicht mehr gemischt, um statistische Abhängigkeiten nicht zu verwischen⁴⁷.

Das oben beschriebene Verfahren hat den Vorteil, daß Abhängigkeiten sehr einfach untersuchbar sind, da mit dem Index eines Ergebniszahlenwertes direkt auf den Eingangszahlenwert eines beliebigen Vorgängerelementes zugegriffen werden kann. Diese Tatsache wird bei der Korrelationsanalyse ausgenutzt.

Die berechneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen können graphisch dargestellt werden (s. Abb. 23.). Außerdem werden Kenngrößen der Verteilung berechnet. Die angegebenen Minimal- und Maximalwerte sind dabei als Anhaltspunkte zu verstehen. Signifikant größere Werte können sich bei erhöhten Stichprobenzahlen ergeben. Das Programmsystem aktualisiert die berechneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen bei Modelländerungen automatisch. So ist es möglich, die Auswirkungen von Modelländerungen (z.B. von Funktionsparametern) unmittelbar zu visualisieren.

4.3.4. Hilfsmittel zur Untersuchung des Entscheidungsmodells

Die zur Untersuchung des Entscheidungsmodells entwickelten Hilfsmittel lassen sich in **passive Analysen** (Übersichtshilfsmittel, Korrelationsanalyse), die lediglich die Ergebnisse darstellen, und **aktive Analysen** (Sensitivitätsanalyse, Trade-Off-Editor), mit den Veränderungen am Entscheidungsmodell getestet werden können, einteilen.

Die Inspektion der berechneten Ergebnisse durch Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen ist zeitaufwendig. Für einen schnelleren Überblick über die Ergebnisse kann das **Übersichtshilfsmittel** (s. Abb. 24.) verwendet werden. Es wird eine vereinfachte Darstellung von p-Verteilungen anhand des Mittelwertes (mittlerer Strich), frei wählbarer Fraktile (Rechteck) und der Extremalwerte (Begrenzungsstriche) verwendet. Parallel dazu werden die

⁴⁷ Zu diesem Problemkomplex s. a. /Smith-92/.

Einheit des gewählten Elementes (Gesamtnutzen, keine Einheit), der Mittelwert (-0.25...) und die Extremalwerte (-0.62..., 0.99...) ausgegeben.

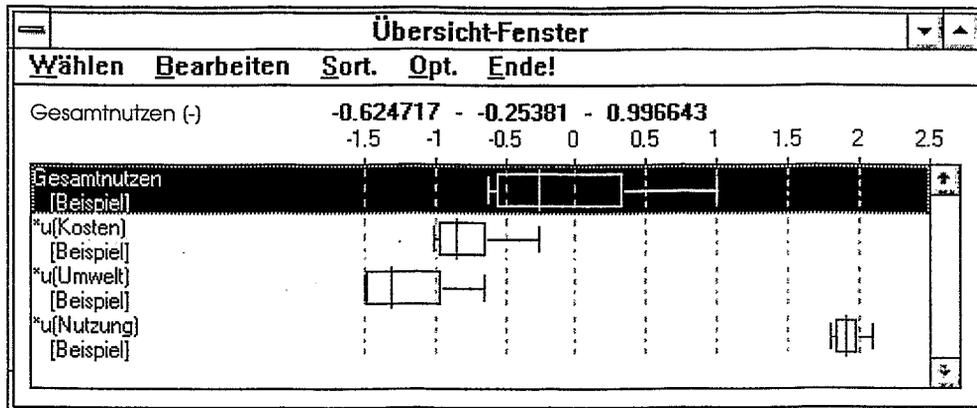


Abbildung 24. Darstellung von Ergebnissen mit den Übersichtshilfsmittel.

Es ist sowohl möglich, sich durch die hierarchische Struktur eines Funktionsnetzes zu bewegen (durch Anzeigen der Vorgänger- oder Nachfolgerelemente), als auch die Ergebnisse aller Elemente gleichen Namens aller Alternativen (z.B. alle Kosten) zu betrachten. Diese Möglichkeit ist insbesondere bei der Betrachtung der Ergebnisse des Bewertungssystems nützlich. Bei der Betrachtung von Elementen, die additiv zu einem Summenparameter zusammengefaßt werden, ist es möglich, die Verteilungen gewichtet (mit * markiert) darzustellen. Damit können bei gewichteten Additionen einfach die signifikanten Einflußgrößen identifiziert werden (Bsp.: $z = \alpha \cdot x + \beta \cdot y \Rightarrow$ Darstellung der p-Verteilungen von $\alpha \cdot x$ und $\beta \cdot y$).

Die Speicherung der Stichprobenpunkte aller Elemente ermöglicht es, die Korrelation zwischen zwei Elementen graphisch darzustellen (**Korrelationsanalyse**: s. Abb. 25.:

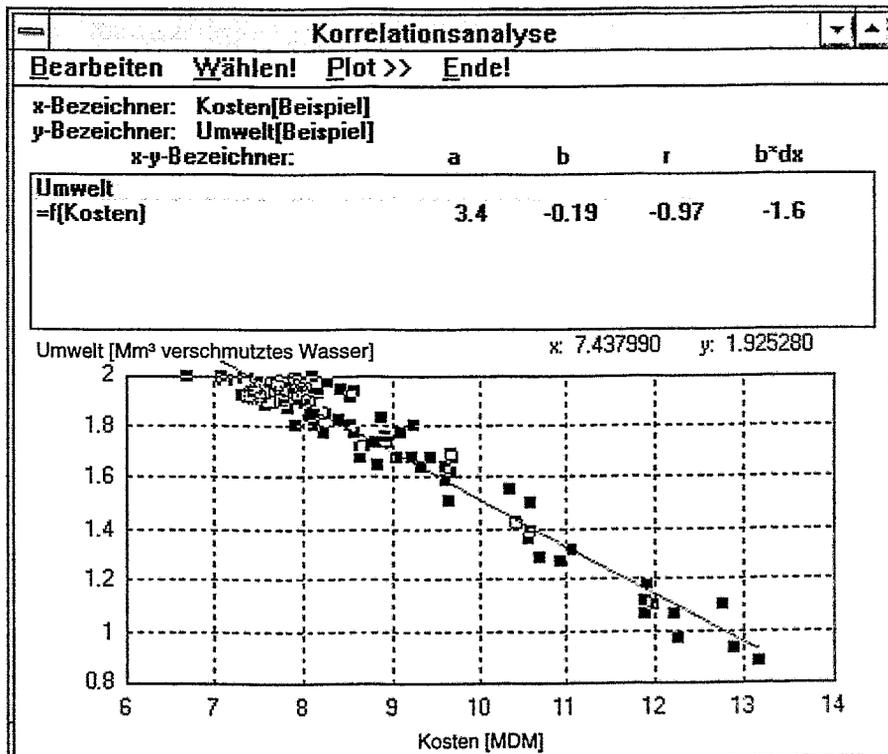


Abbildung 25. Korrelationsanalyse zur Überprüfung probabilistischer Zusammenhänge zwischen dem finanziellen Schaden und dem Umweltschaden.

Darstellung der Ergebnispunkte der Kosten und des Umweltnutzens). Gleichzeitig wird eine einfache Regressionsanalyse durchgeführt (Abb. 25.: Umweltnutzen = a+b·Kosten). Mit diesem Hilfsmittel können statistische Korrelationen (Abb. 25.: Korrelationskoeffizient r) identifiziert werden. Ebenso ist es möglich, die relevanten, d.h. korrelierten Vorgängerelemente zu identifizieren.

Die aktiven Analysen verändern das Modell zu Untersuchungszwecken aktiv. Die dabei vorgenommenen Änderungen sind entweder temporärer Art (Sensitivitätsanalysen) oder dienen zur Justierung des Modells (Trade-Off-Editor).

Die **Sensitivitätsanalyse** (s. Abb. 26.) dient zur Untersuchung der Auswirkungen von quantitativen Modellvariationen auf den Mittelwert (oder Varianz, Extremalwerte, Fraktile) von Elementen. Dargestellt ist die Abhängigkeit des Erwartungswertes des Gesamtnutzens der Alternative 'Beispiel' vom Abwägungsparameter k_{Umwelt} ($u_{ges} = \dots + k_{Umwelt} \cdot u_{Umwelt} + \dots$) des Elementes 'Gesamtnutzen'. Dieser wird zwischen 0.5 und 2.5 mit Schrittweite 0.25 variiert. Sein aktueller Wert beträgt 1.5. Auch hier wird eine Regression durchgeführt ($\bar{u}_{ges} = 0.849 + 0.875 \cdot k_{Umwelt}$). Neben der Variation der Zahlenwerte von Modellparametern können auch die Kennwerte von Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Mittelwert, Varianz) sowie bei durch Streckenzüge definierten Elementen (p-Elemente, ft-Elemente) die Position der Einzelpunkte variiert werden. Besonders wichtige Anwendungsmöglichkeiten sind Untersuchungen, welche Auswirkungen die Variation von Abwägungsparametern und des Risikoverhaltens auf die Bewertung und Reihenfolge der Alternativen hat. Einige Anwendungsbeispiele

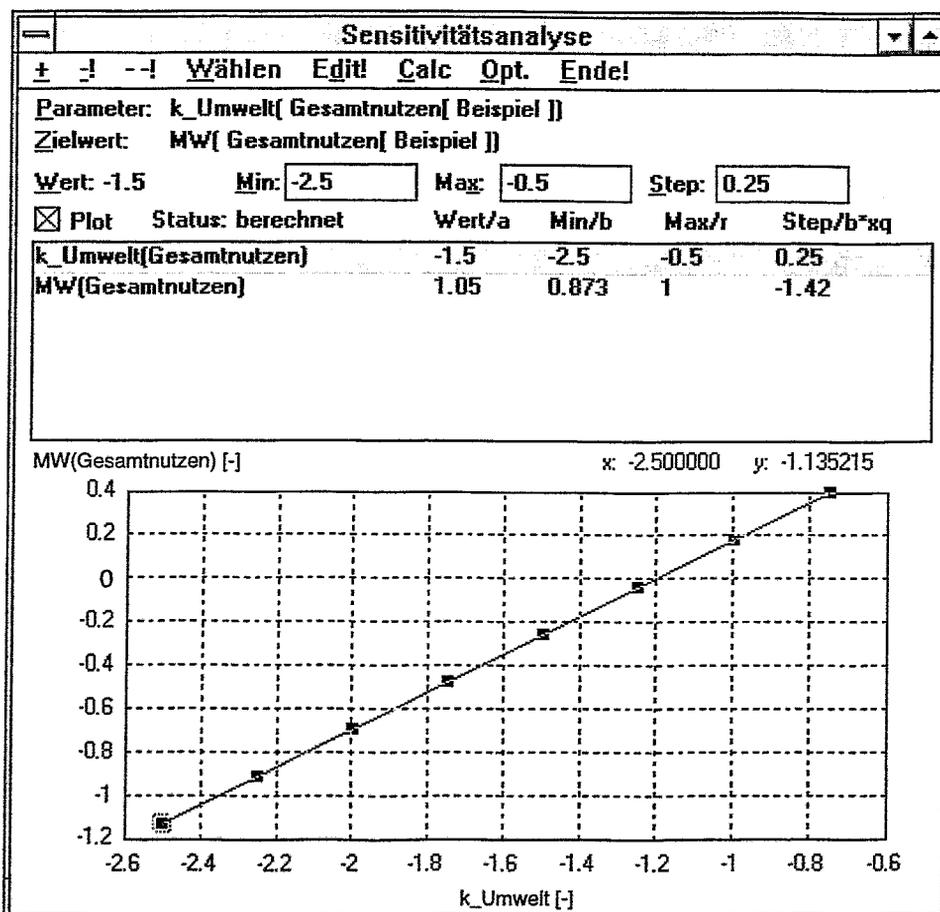


Abb. 26. Beispiel zur Anwendung der Sensitivitätsanalyse zur Überprüfung der Auswirkungen von Parametervariationen.

spiele sind in 5.3.5. zu finden.

Der **Trade-Off-Editor** dient zur Visualisierung und Justierung des Bewertungssystems. Im Rahmen der EA erfolgt eine sorgfältige Behandlung von multiattributiven Problemen. Die dabei zu treffenden Abwägungen zwischen den Kriterien bestimmen maßgeblich das Bewertungsergebnis der Sanierungsvarianten. Es muß daher großer Wert auf die Anschaulichkeit der verwendeten Attribute und die Verdeutlichung der Abwägungsparametern gelegt werden. Das ist ohne Hilfsmittel kaum zu erreichen, da zum einen die ursprünglich anschaulichen Kriterien durch die Nutzenfunktionen in abstrakte Werte transformiert werden, die dann gegeneinander abzuwägen sind um eine Zusammenfassung zu erreichen (Abb. 27.: 'u(Fixkosten)' und 'u(Laufende Kosten)' zu 'Finanziellen Schaden', Abwägung 1). Zum anderen sind die Kriterien baumartig strukturiert, so daß auf den höheren Ebenen abstrakte Kriterien verglichen werden müssen (s. Abb. 27.: 'Finanzieller Schaden' zu 'Umweltschaden', Abwägung 2).

Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten wurde der Trade-Off-Editor entwickelt. Er berechnet auf der Basis von Aussagen, die aus dem Vergleich vorstellbarer Kriterien resultieren, die Abwägungsparameter der abstrakten Kriterien (s. Abb. 27. z.B. aus Abwägung 1' den Abwägungsparameter für 'u(Laufende Kosten)' im Element 'Finanzieller Schaden' und aus Abwägung 2' den Abwägungsparameter für 'Umweltschaden' im Element 'Gesamtnutzen').

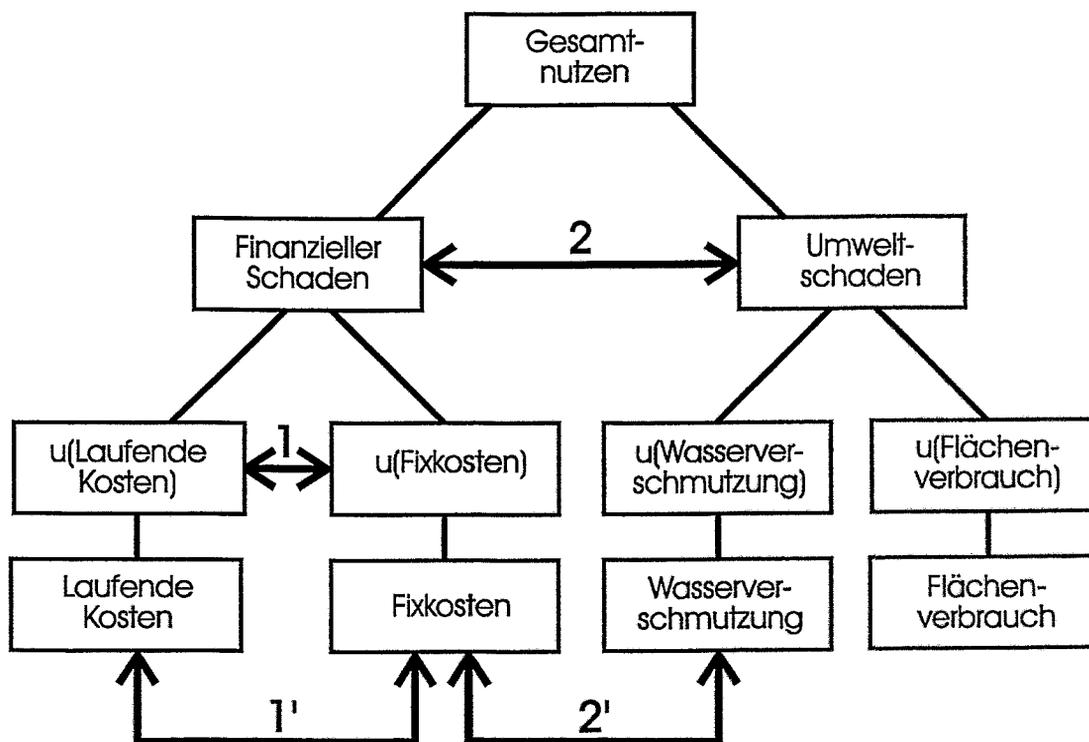


Abbildung 27. Notwendige Abwägungen mit und ohne Trade-Off-Editor.

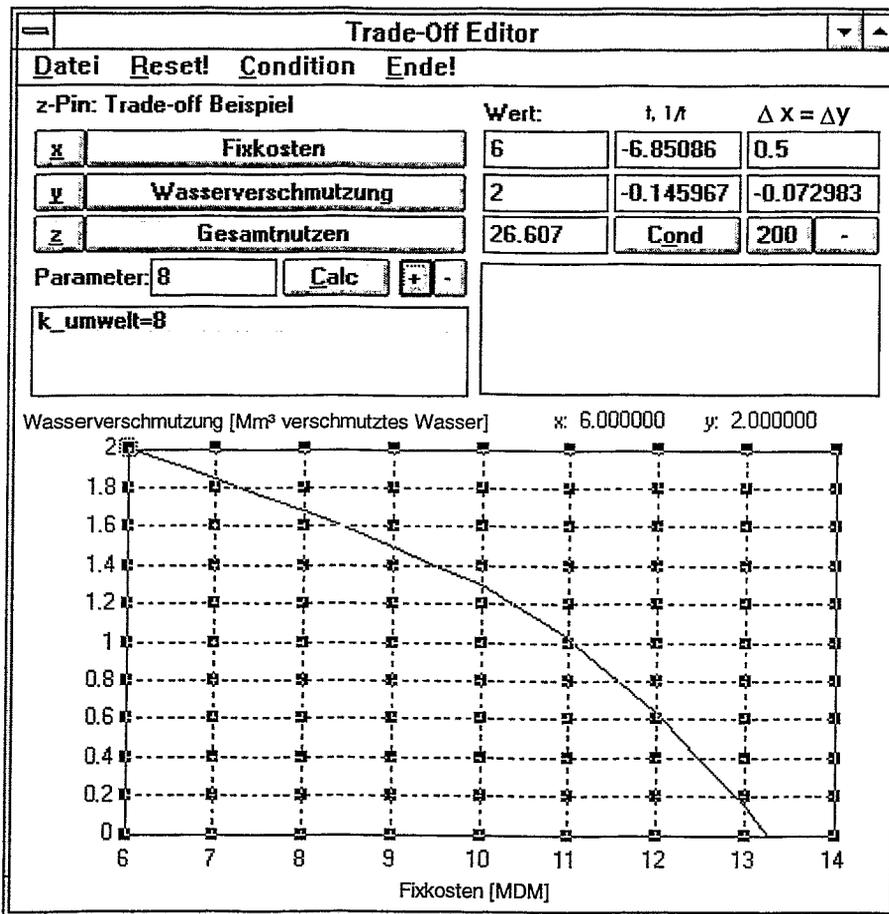


Abbildung 28. Darstellung eines Isopräferenzfeldes mit dem Trade-Off-Editor.

Zur Visualisierung der Auswirkungen des aktuell gewählten Parametersatzes werden Isolinienfelder verwendet. Die dargestellte Linie verbindet Ergebnispunkte gleicher Präferenz (Abb. 28.: Ergebnispunkt=(Fixkosten, Wasserverschmutzung), (6 MDM, 2 Mm³) ≈ (12 MDM, 0.6 Mm³)). Neben den Punkten gleicher Präferenz können auch die lokalen Trade-off-Raten⁴⁸ abgelesen werden (Abb. 28.: $t(6 \text{ MDM}, 2 \text{ Mm}^3)=6.85 \text{ DM/m}^3$ bzw. $\Delta x=0.5 \text{ MDM} \approx \Delta y=0.0729 \text{ Mm}^3$). Die zu justierenden Abwägungsparameter (Abb. 28.: k_{Umwelt}) können manuell variiert werden, bis das Isolinienfeld die Präferenzen des Entscheiders korrekt wiedergibt. Alternativ dazu können auch direkt Isopräferenzpunkte oder lokale Trade-off-Raten definiert und eine automatische Parameteranpassung⁴⁹ vorgenommen werden.

⁴⁸ Zur Definition der Trade-off-Rate s. Fußnote 37. "lokal" bedeutet, daß die Trade-off-Raten vom Bezugspunkt abhängen.

⁴⁹ Zur Parameteranpassung wurde der Levenberg-Marquardt-Algorithmus aus /Press-92/ implementiert.

5. Anwendungsfall Deponie Bergen

5.1. Beschreibung der Deponie Bergen

Zur praktischen Erprobung der Methoden der EA wurde ein realer Altlastenfall als Anwendungsbeispiel ausgewählt. Die Anlehnung an einen aktuellen Altlastenfall hatte den Vorteil, daß reale Entscheidungsträger zur Mitarbeit motiviert werden konnten. Im Gegensatz zu Spieldaten aus hypothetischen Fällen mußten sie hier damit rechnen, daß ihre Angaben bei der Entscheidung über den realen Fall aufgegriffen werden. Somit stand zu erwarten, daß ihre Verhaltensweisen realistischer und ihre Angaben sorgfältiger durchdacht sind, als das bei einer rein hypothetischen oder schon abgearbeiteten Altlast der Fall gewesen wäre. Des weiteren konnten die Beteiligten erwarten, daß Teilergebnisse der Arbeiten zur Entscheidungsanalyse für den realen Fall wiederverwendbar sind. Die Ergebnisse rechtfertigten somit den Arbeitsaufwand, den die Beteiligten zusätzlich erbringen mußten.

Die Wahl des aktuellen Altlastenfalles fiel auf die Deponie Bergen bei Hoyerswerda. Im Rahmen des Sächsischen Altlasten-Modellstandortprogramms (MOST- Programm) wurde die Deponie Bergen als Modellstandort für mit Abfällen verfüllte Tagebaurestlöcher ausgewählt.

Die Deponie Bergen (s. Abb. 29.) befindet sich im südlichen Abschnitt des Restloches 'Westrand' des Braunkohletagebaues Spreetal und liegt ca. 6 km nördlich des Stadtzentrums von Hoyerswerda. Seit 1971 wird das Restloch zur Ablagerung von Haus- und Industriemüll, sowie für Bauschutt und Bodenaushub genutzt. Bisher wurden 1 500 000 m³ abgelagert. Die geplante Endkapazität beträgt 2 800 000 m³.

Die Deponiesohle liegt bei 75mNN und die derzeitige Oberfläche bei 100 bis 104 mNN. Mit der Außerbetriebnahme von Tagebau- bzw. Kippenentwässerungen in der Umgebung des Restloches im Jahre 1986 stieg der Grundwasserspiegel rasch von 70 mNN auf heute 95 mNN an. Der endgültige Stand wird bis zum Jahr 2010 erreicht werden (s. Abb. 30.) und ca. 104 mNN betragen. Das bedeutet, schon heute stehen große Teile des Deponiefußes im Grundwasser. Da die Deponie weder über eine Seiten- und Basisabdichtung verfügt, noch eine Wasserhaltung erfolgt, werden Schadstoffe ungehindert aus dem Deponiekörper ausgewaschen und mit dem Grundwasser in die umliegenden Kippenböden verbreitet.

Nach derzeitigen Planungen befindet sich die Deponie in einem Flutungsgebiet, das 2010 einen See mit einem Oberflächenwasserspiegel von 104 mNN formen soll. Die ausgewaschenen Schadstoffe werden dann in das Oberflächenwasser eingetragen. Aufgrund dieser Situation ist ein permanenter Absperrbedarf für die betroffenen Gelände und Oberflächengewässer zu erwarten. In unmittelbarer Nähe grenzen an das Deponiegelände zukünftige Landschaftsschutz- und Naherholungsgebiete an.

Die im Norden und Osten an die Deponie angrenzenden Abraumkippen bestehen aus sandigen Abraums substraten mit einem hohen k_f -Wert (Durchlässigkeitsbeiwert) von 10^{-4} - 10^{-5} m/s. Mit Außerbetriebnahme von Tagebauentwässerungen und dem damit verbundenen Grundwasseranstieg kommt es zur Veränderung der Grundwasserströmungsrichtung und zu einer deutlichen Verringerung des Gefälles und der Migrationsgeschwindigkeiten. Für das Jahr 2010 wird eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. 17 m/a nach Nord-Nord-West, d.h. in Richtung der dann vorhandenen Oberflächengewässer prognostiziert.

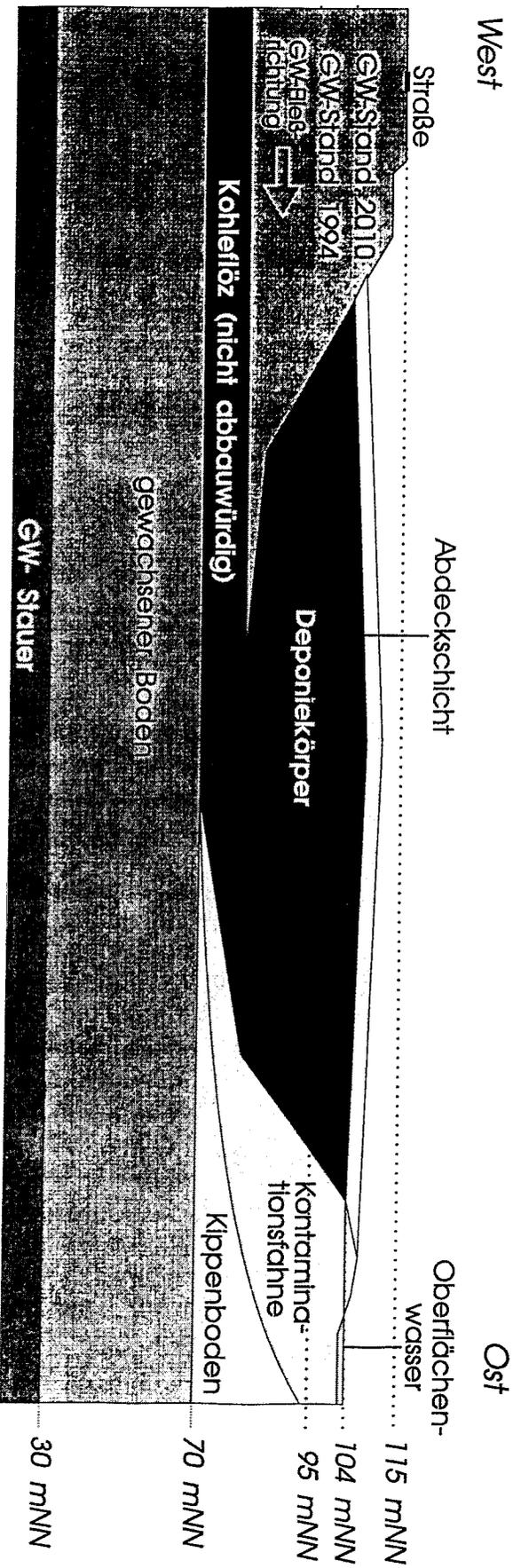


Abbildung 29. Schnittdarstellung der Deponie Bergen (Maßstab 1:1500)

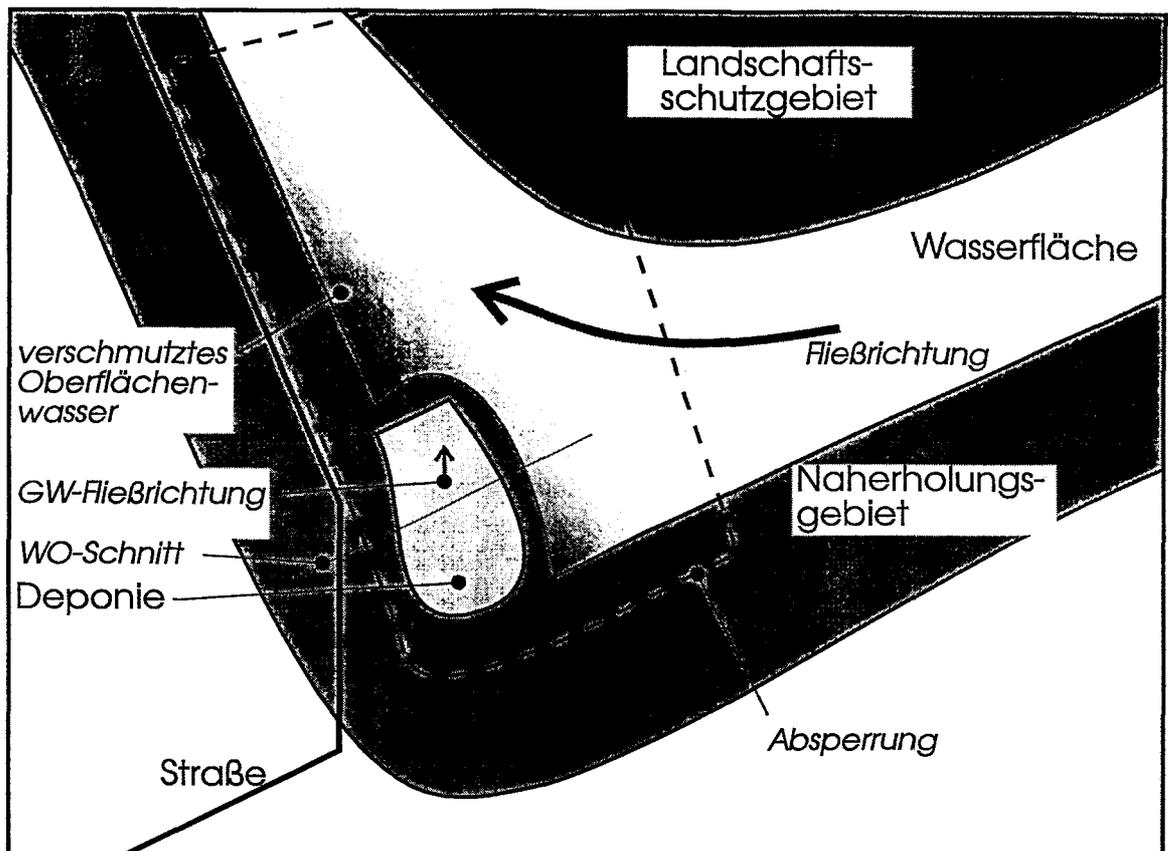


Abbildung 30. Prinzipdarstellung des Umfeldes der Deponie Bergen im Jahr 2010.

Zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Arbeit lagen noch keine aktuellen Analytikergebnisse aus dem Abstrombereich der Deponie vor. Deswegen wurden aus älteren Messungen plausible Werte für einen abstromig gelegenen Meßpunkt abgeschätzt (s. Tab. 2.). Diese Vorgehensweise ist gerechtfertigt, da das Ziel der Untersuchungen nicht eine exemplarische Sanierungsentscheidung für den Standort Bergen war, sondern eine Praxisüberprüfung der Methoden der EA.

Obwohl der untere Teil der Deponie (Ablagerungen bis 1991) von leicht saurem Grundwasser durchströmt wird, sind lokale pH-Werte von bis zu pH 11 zu verzeichnen. Diese resultieren aus der hohen Pufferkapazität von eingelagerten Braunkohlekraftwerksaschen. In diesen Bereichen kommt es derzeit zum Ausfällen der gelösten Schwermetalle. Aufgrund der prognostizierten Richtungsänderung der Grundwasserströmung werden ab 2010 Kippenwässer mit pH 3...4 in die Deponie strömen und bei einer gleichzeitigen Abnahme der Pufferkapazität des Deponiekörpers verstärkt Schwermetalle mit dem Grundwasser ausgetragen.

	Ist-Stand	Prognose 2010	Prognose 2010	Maßnahmewert Badegewässer
Meßort	80 mNN	80 mNN	Ufer	-
Arsen (mg/l)	0.13	2.4 - 4.8	0.47 - 1.37	0.25
Quecksilber (mg/l)	0.0005	0.07 - 0.14	0.014 - 0.04	0.01
PAK gesamt (µg/l)	0.02	0.24 - 0.36	0.047 - 0.1	0.002
Phenol (µg/l)	0.085	0.46 - 0.69	0.09 - 0.2	0.025

Tabelle 2. Für den betrachteten Anwendungsfall angenommene Schadstoffkonzentrationen.

Infolge des stetig steigenden Grundwasserpegels (0.7 m/a) steht die Entscheidung über eine mögliche Sanierung unter Zeitdruck. Sanierungsvarianten, die eine Trockenlegung des Deponiekörpers verlangen, werden immer kostspieliger und die mit dem Grundwasser ausgetragene Schadstoffmenge steigt stetig. Eine weitere wichtige Randbedingung stellt das Verkippen von Abraummassen aus dem Tagebau Scheibe in das Gebiet südöstlich der Deponie dar, welches im August 1996 abgeschlossen sein wird. Sanierungsvarianten, die Aufschüttungen im Bereich um die Deponie benötigen (z.B. Sicherungsvarianten), sollten aus Kostengründen das bis 1996 zur Verfügung stehende Tagebaugroßgerät nutzen.

5.2. Vor- und Nachteile der Deponie Bergen als Anwendungsfall

Bei der Auswahl des Anwendungsfalles spielten verschiedene Gesichtspunkte eine Rolle. Zum einen war es notwendig, ein hinreichend großes Sanierungsobjekt auszuwählen. Nur so läßt sich der Aufwand für eine umfangreiche Vorbereitung der Sanierungsentscheidung rechtfertigen. Bergen mit einem geschätzten Sanierungsvolumen um 100 MDM ist hierbei gut geeignet.

Außerdem war wichtig, daß bei der zu untersuchenden Sanierungsentscheidung kein Sanierungskonzept klar dominiert. Erst die Abwägung der Stärken und Schwächen verschiedener Verfahren gestaltet einen Anwendungsfall methodisch ergiebig. Dieser Aspekt war insbesondere im Hinblick auf den Modellstandortcharakter der Deponie Bergen von Relevanz.

Da von der Deponie Bergen keine offensichtliche, akute Schädigung der Umwelt ausging, stand ausreichend Zeit zur Verfügung, um gründlich über die Sanierungsvarianten nachzudenken und diese gegeneinander abzuwägen. Der Bearbeitungsstand von Bergen war noch nicht soweit fortgeschritten, daß eine bestimmte Sanierungsvariante schon favorisiert wurde. Die beteiligten Personen waren damit unvoreingenommen und zu einer exemplarischen Entscheidungsfindung bereit.

Die Deponie Bergen als laufendes Projekt garantierte, daß alle Beteiligten ein verstärktes Interesse an einer Zusammenarbeit hatten. Alle beteiligten Entscheidungsträger erklärten ihre Bereitschaft zur Mitarbeit. Somit konnte bezüglich dieses Punktes eine maximale Praxisnähe erreicht werden. Im Verlaufe der Entscheidungsfindung mußten zwar Vorgriffe im Bearbeitungsablauf gemacht werden (s.o. Schadstoffprognose), jedoch war allen Beteiligten klar, daß die Situation, vor die sie gestellt wurden, vielleicht in naher Zukunft für sie relevant sein könnte. Im Gegensatz zu rein hypothetischen Beispielen stellte das gewählte Entscheidungsproblem somit mit geringen Abstrichen einen realen Fall dar.

Schließlich ist die Deponie Bergen eine recht einfach strukturierte Altlast. Bei Altlasten, die sich aus vielen Teilflächen mit verschiedenen Kontaminationen zusammensetzen, müssen theoretisch alle Verfahrenskombinationen bewertet werden. Da die EA eine sorgfältige Quantifizierung aller Entscheidungsalternativen voraussetzt, ist bei einer solchen Altlast der Arbeitsaufwand extrem hoch (s.a. 6.3.).

Den Vorteilen standen jedoch eine Reihe von Nachteilen gegenüber. Bergen liegt in einem ehemaligen Braunkohlegebiet und damit weit abseits von wirtschaftlichen Entwicklungszentren. Mit der Verwendung von Bergen als Anwendungsfall wurde damit bewußt in Kauf genommen, daß Aspekte, die sich aus der späteren, wirtschaftlichen Nutzung des sanierten

Standortes ergeben, für die Sanierungsentscheidung wahrscheinlich keine wesentliche Rolle spielen würden⁵⁰. Die interessante Abwägung zwischen teuren aber nutzungsbezogen günstigen Sanierungsalternativen und preiswerten Sanierungsalternativen, mit nur geringer Nachnutzung ließ sich somit an der Deponie Bergen nicht realisieren.

Die Bearbeitung des Altlastenfalles Bergen entwickelte sich äußerst schleppend. Da keine der beteiligten Personen ein vitales Interesse an einer Forcierung der Arbeiten zur Erkundung und Sanierungsplanung hatte, drifteten die Anforderungen, die sich aus der Anwendung der EA ergaben und der reale Kenntnisstand immer weiter auseinander. Daraus ergab sich schließlich die Notwendigkeit, zahlreiche Annahmen zu treffen und viele Arbeiten selbständig durchzuführen, die eigentlich als Nebenprodukt der Bearbeitung von Bergen als Zuarbeit erhofft worden war⁵¹.

5.3. Darstellung der Vorgehensweise mit Ergebnissen

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen, durchgeführten Bearbeitungsschritte zur Anwendung der EA auf den ausgewählten Anwendungsfall beschrieben. Dabei werden die Ergebnisse präsentiert und die aufgetretenen Probleme erläutert. Eine kritische Reflektion der Beobachtungen und weiterführende Handlungshinweise zur Anwendung der EA für öffentliche Entscheidungen im Altlastenbereich finden sich im Kapitel 6.

5.3.1. Vorbereitende Arbeiten - Identifizierung relevanter Personengruppen und Wahl des Entscheidungsgegenstandes

Als ersten Schritt bei der Anwendung der EA wurden die entscheidungsbeteiligten Personengruppen mit den ihnen obliegenden Aufgaben und Hauptinteressen identifiziert. Im allgemeinen bilden sich zur Bearbeitung eines Altlastenfalles Arbeitsgruppen mit Vertretern aller entscheidungsbeteiligten Institutionen. Die Arbeitsgruppen sollten das ganze Spektrum von relevanten Sachgebieten erfassen. Im Falle des Modellstandortes Bergen sind daran folgende Einrichtungen beteiligt:

- **Umweltbehörden** (Umweltministerium, Landesumweltamt, Umweltfachamt), die das Ziel haben, eine umweltschonende, kosteneffektive Maßnahme auszuwählen.
- Der **Sanierungsverantwortliche**, der ein Interesse an einer Minimierung der Sanierungskosten hat. Im Falle der Deponie Bergen ist dies der regionale **Abfallverband**, der gleichzeitig der Betreiber der Deponie Bergen ist. Daher muß als zusätzlicher Aspekt bei der Sanierung die Sicherung der Müllentsorgung mitbewertet werden. Der Abfallverband ist ein Zweckverband zur Koordination der Müllentsorgung in mehreren Landkreisen. Die Träger des Verbandes sind also letzten Endes auch kommunale Behörden (Landratsämter).

⁵⁰ Im Laufe der Bearbeitung wurde bekannt, daß in unmittelbarer Nachbarschaft zu Bergen ein großer Wild- und Naturpark errichtet werden soll /Luckner-96/. Diese Tatsache, die zu einer beträchtlichen Aufwertung der wirtschaftlichen Folgeeffekte einer Sanierung führt, konnte leider nicht mehr berücksichtigt werden.

⁵¹ Insbesondere war geplant, daß die technische Erkundung der Deponie Bergen Hinweise zu Sanierungsansätzen liefern sollte. Leider war bis Ende 1995 lediglich die orientierende, technische Erkundung abgeschlossen, die keinerlei Aussagen zu Sanierungsansätzen oder auch nur geplanten Folgenutzungen enthielt. Somit mußten sämtliche Arbeiten zu Sanierungskonzepten eigenständig geleistet werden. Eine vollständige Beschreibung von Bergen und den untersuchten Sanierungskonzepten findet sich in /Schneider-96/.

- **Kommunale Behörden** (Landratsamt), die eine umweltschonende, belästigungsarme Sanierung durchführen. Wichtig ist ihnen weiterhin die Kompatibilität zu den kommunalen und regionalen Entwicklungsplanungen.
- **Genehmigungsbehörden** (Regierungspräsidium, Bergamt), denen die Überprüfung der Vereinbarkeit der Maßnahmen mit den Vorschriften und Gesetzen obliegt. Insofern haben sie kein Interesse an der Optimierung bestimmter Sachverhalte, sondern sie repräsentieren einzuhaltende Randbedingungen. Da ihnen jedoch ein Ermessensspielraum (z.B. bei der Förderquote) zukommt, sind auch sie als Entscheider zu betrachten.

Außer diesen Entscheidungsträgern waren weitere Gruppierungen (Gutachterfirmen, Braunkohlefirmen, Sanierungsfirmen) an der Bearbeitung des Standortes Bergen beteiligt, denen jedoch nicht der Status des Entscheiders zugeordnet werden kann.

Aus Gesprächen mit den zuständigen Behörden ergab sich, daß insbesondere die weitere Nutzungsmöglichkeit des Standortes für Abfallentsorgungszwecke maßgeblich für die Wahl des Sanierungskonzeptes sein würde. Hier war Entscheidungsspielraum vorhanden, so daß der Weiterbetrieb der Deponie als Teil des Entscheidungsgegenstandes definiert wurde. Da die Folgenutzung des sanierten Standortes und dessen Umfeld noch nicht definitiv festgelegt war, wurde auch das in die Entscheidung mit einbezogen. Die zur Entscheidung stehenden Alternativen waren somit eine Kombination aus Sanierungsmaßnahme, Deponiebetrieb und Nutzungsszenarium.

5.3.2. Kriterienerstellung

Um zu einem möglichst vollständigen Kriterienkatalog zu gelangen und um die unterschiedlichen Entscheidungsperspektiven der beteiligten Personen darstellen zu können, wurde für die Erstellung des Kriterienkataloges ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Im ersten Schritt wurden personenspezifische Listen erstellt, die die befragten Personen für ihre eigene Entscheidung verwenden würden. Diese wurden dann in einem zweiten Schritt zu einer Gesamtliste zusammengefaßt, die als Schnittstelle für die Quantifizierung verwendet wurde.

Bei der Erstellung der Kriterien wurde bewußt darauf verzichtet, den beteiligten Personen vordefinierte Kriterienlisten zur Auswahl zu stellen (wissensbasierter Ansatz, vgl. Abschn. 4.1. und 4.2.). Bei dem betrachteten Anwendungsfall sollte getestet werden, ob die Erstellung von Kriterien im Zuge einer Sanierungsentscheidung durchführbar ist. Deshalb wurde versucht, in Zusammenarbeit mit den Personen eine für den Anwendungsfall maßgeschneiderte Kriterienliste zu entwickeln. Diese Vorgehensweise entspricht ganz einem modellorientierten Ansatz. Inwieweit vordefinierte Kriterienkataloge für andere Sanierungsfälle sinnvoll eingesetzt werden können, wird in 6.4.2. diskutiert.

5.3.2.1. Erstellung von personenspezifischen Kriterienlisten

Die wichtigste Anforderung an eine Kriterienliste ist die Vollständigkeit. Um das zu gewährleisten wurde nach Probegesprächen mit Testpersonen folgende Vorgehensweise gewählt:

- Um die Kreativität bei der Erstellung von Kriterien zu stimulieren /Keller-88, Keeney-95/, wurden zuerst Kurzbeschreibungen von möglichen Sanierungsszenarien am Standort Ber-

gen erstellt und mit einer Aufgabenstellung an oben genannte Personengruppen verschickt⁵².

Die Beschreibungen enthielten den technischen Sanierungsansatz, alle durchzuführenden Verfahrensschritte, den Endzustand der sanierten Altlast, mögliche Varianten des Sanierungsverfahrens und Problemszenarien, die sich bei der Durchführung des beschriebenen Verfahrens ergeben könnten. Dabei wurde versucht, möglichst viele, verschiedene Sanierungsansätze zu beschreiben. Um die Präferenzen der Entscheider nicht zu verfälschen oder Antworten zu implizieren, wurde sorgfältig darauf geachtet, daß in den Beschreibungen keine Quantifizierungen, Vor- oder Nachteilsaussagen oder Bewertungsmaßstäbe enthalten waren.

Die mitgelieferten Fragestellungen zielten darauf ab, ein Gespräch zur Ermittlung von Kriterien vorzubereiten. Sie lauteten:

- Welche Informationen benötigen Sie, um Vor- und Nachteile der Konzepte zu benennen ?
- Können Sie prinzipielle Vor- und Nachteile der Konzepte identifizieren ?
- Welche bewertungsrelevanten Informationen wären erforderlich, falls Sie vor die Entscheidung für eine der aufgelisteten Sanierungskonzepte gestellt würden ?

Im Anschreiben wurde deutlich gemacht, daß im nachfolgenden Gespräch keine Entscheidung für ein Konzept getroffen und daß keine Wichtung von Kriterien gegeneinander vorgenommen werden mußte. Der Sinn des Interviews war, dem Entscheidungsbeteiligten eine erste Möglichkeit zu geben, die für ihn relevanten Aspekte in den Entscheidungsprozeß einzubringen.

- Nach der Bearbeitung der Aufgabenstellung durch die beteiligten Personen wurde ein Gespräch, über die Ergebnisse durchgeführt. Es bestand aus einer Kombination von Bottom-Up- und Top-Down-Ansatz:
 - Alle von der Person genannten Vor- und Nachteile wurden solange präzisiert, bis sich Kriterien abzeichneten (Bottom-Up). Weiterhin wurde festgelegt, ob bestimmte Aspekte als Abwägungsgegenstand oder als Randbedingung zu behandeln sind (Bsp.: Arbeitsschutz).
 - Die Kriterien wurden nach Sachgebieten geordnet und diese dann vervollständigt (Top-Down).
 - Unter Berücksichtigung der jeweiligen, fachlichen Kompetenz wurde versucht, für die Kriterien Attribute zu definieren.
 - Abschließend fand eine Diskussion über die Ermittelbarkeit, Legitimität und politische Durchsetzbarkeit der Kriterien statt.

Bei der Erstellung der personenspezifischen Kriterienlisten traten zahlreiche Probleme auf. Die Mehrzahl davon waren organisatorisch bedingt, ein Teil war jedoch prinzipieller Natur.

- Es fand keine Selektion der zu befragenden Personen statt, sondern alle Mitglieder der Arbeitsgruppe für Bergen wurden angesprochen. Vielen Personen, insbesondere den Vertretern von Genehmigungsbehörden, war die Vorgehensweise der EA (Kriteriendefinition - Alternativenquantifizierung - Gesamtbewertung) fremd. Sie konnten z.T. nicht verstehen, warum Kriterien formuliert werden mußten und warum gerade sie selbst diese definieren sollten. Typische Einwendungen waren:

⁵² Betrachtet wurden u.a. folgende Sanierungsansätze: Absperrung, hydraulische Reinigung, hydraulische Sicherung, Einkapselung, Umlagerung, Ertüchtigung, thermische Entsorgung.

- "Formale Entscheidungssysteme sind Unsinn. Es wird auch heute schon entschieden, auch ohne Bewertungssysteme."
- "Es besteht keine Notwendigkeit, Kriterien zu definieren. Es wird die billigste Lösung, die den Umwelanforderungen genügt, durchgeführt."⁵³
- "Die Kriterien sind in den Gesetzen und Altlastenrichtlinien enthalten. Lesen Sie sich diese durch, dann sparen wir uns Zeit."
- "Wieso soll ich Kriterien definieren ? Einfach mal schauen, was andere machen."

Hier wäre eine andere Vorgehensweise und eine Auswahl der zu befragenden Personen notwendig gewesen. Vorschläge dazu werden in 6.4.2. gemacht.

- Viel Verwirrung gab es um Begrifflichkeiten. Insbesondere die Begriffe 'Kriterien', 'Randbedingungen' und 'Einflußgrößen' (s. 3.2.-b.) wurden nur magelhaft getrennt, so daß häufig schon die Fragestellungen fehlinterpretiert wurden. Auf die Frage nach notwendigen Informationen wurde häufig die ganze Spannweite von Einflußgrößen aufgezählt, die bei der Bearbeitung eines Altlaststandortes zu ermitteln sind. Besser wäre die Frage nach direkt bewertungsrelevanten Informationen gewesen. Dabei hätte auch auf Beispiele zurückgegriffen werden sollen.

Anlaß zu Diskussionen gab auch der Risikobegriff. So wurde zum Beispiel während der Interviews der Begriff 'Gefährdungspotential' (für das Grundwasser) sehr häufig genannt. Es wäre für die Befragten wichtig gewesen zu wissen, daß der dazu analoge Begriff des Risikos im Rahmen der EA als 'Schadensausmaß · Eintrittswahrscheinlichkeit' definiert ist (vgl. Definition von 'Gefährdung' in Fußnote 54). Erst bei Verständnis des Risikobegriffes können die dahinterliegenden Kriterien, die die Schadensarten beschreiben (z.B: Nutzungsausfälle, Umweltzerstörung), aufgedeckt werden. Die Frage, was Personen mindestens wissen müssen, um die EA sinnvollerweise anwenden zu können wird in 6.2.2. aufgegriffen.

- Ein interessantes Problem war das der Entscheidungsperspektive, d.h. aus welchem Blickwinkel heraus Kriterien definiert werden sollten. Es traten drei verschiedene Fälle auf:
 - **Persönliche Ansichten** können am einfachsten und freiesten definiert werden. Problematisch ist, daß diese häufig nicht an Dritte weitergegeben und damit auch nicht zur Ableitung von vertretbaren Kriterien und Begründungen für das bevorzugte Sanierungskonzept verwendet werden können.
 - **Gruppeninterne Ansichten** sind das, was die befragte Person gegenüber Mitgliedern der eigenen Gruppe (z.B. Behörde) vertreten kann. Diese können zur Meinungsbildung innerhalb der Gruppe verwendet werden, sind jedoch nicht notwendigerweise auch gegenüber anderen, externen Gruppen artikulierbar. Falls die befragte Gruppe eine normbildende Institution darstellt (z.B. Umweltfachbehörde) und innerhalb dieser Konsens herrscht, können aus gruppeninternen Ansichten auch öffentlich vertretbare Handlungsrichtlinien entstehen.
 - **Öffentliche Ansichten** können auch gegenüber Vertretern externer Gruppen geäußert werden. Damit sind sie auch zur Ableitung von Begründungen verwendbar. Problematisch an ihnen ist, daß sie rechtlich und politisch durchsetzbar sein müssen. Gerade diese Tatsache schränkte häufig die Auskunftsbereitschaft der befragten Personen entscheidend ein.

⁵³ Diese Aussage deutet auf eine typische, randbedingungsgesteuerte Entscheidungsfindung hin, die derzeit im Altlastensektor sehr häufig anzutreffen ist. Eine Diskussion zu diesem Themenkomplex findet sich im Abschnitt 6.4.1.

Da geplant war, ein Konsensdiskussion zwischen den an Bergen beteiligten Institutionen zu führen, wurde den befragten Personen geraten, die Meinung zu artikulieren, die ihnen als Vertreter der jeweiligen Gruppe öffentlich vertretbar erschien.

Die eben beschriebenen, organisatorischen Probleme hätten durch eine bessere Vorbereitung vermieden werden können. Gravierender sind jedoch die prinzipiellen Schwierigkeiten, die die Personen bei der Erstellung von Kriterien und Attributen hatten.

- So konnten häufig nur Stichpunkte und Problembereiche genannt werden, ohne daß die Personen in der Lage waren, diese zu verwendbaren Kriterien zu präzisieren. Beispielsweise wurde das Ziel 'Minimierung der Umweltgefährdung' sehr häufig genannt, aber nur in den seltensten Fällen gelang eine Definition von Kriterien und Attributen. Teilweise waren jedoch prinzipielle methodische und strukturelle Schwierigkeiten die Ursache für Definitionsprobleme. Das Kriterium 'Minimierung der Aufwendungen bis zu einem möglichen Scheitern des Sanierungskonzeptes' ist korrekt eigentlich nur durch komplizierte, rekursive Entscheidungsstrukturen zu beschreiben (s. 7.1.). Die Leitlinie 'Bevorzugung innovativer Verfahren' verknüpft die aktuelle Entscheidung mit allen, in der Zukunft liegenden Sanierungsentscheidungen. Zur quantitativen Erfassung derartiger Argumente sind weitere methodische Untersuchungen notwendig.
 - Die ursprüngliche Idee, alle Kriterien und Attribute von den Befragten selber ansprechen zu lassen, ergab in der praktischen Durchführung, daß ganze Themenbereiche vergessen wurden. So war es einigen Befragten nicht möglich, über die Kosten und die Grundwassergefährdung hinaus, bewertungsrelevante Kriterien zu identifizieren. Daher wurden während des Interviews auch Fragen zu anderen Kriterien gestellt. Häufig wurde die Relevanz dieser Kriterien für die Entscheidung dann bestätigt (Beispiele hierfür sind die mit der Sanierung verbundenen, wirtschaftlichen Effekte und die Nutzungsmöglichkeiten der Deponie Bergen für die Abfallentsorgung). Ansätze zur Lösung dieser Problematik finden sich in 6.4.2.
 - Bei Problembereichen, die nicht im Kompetenzgebiet der befragten Person lagen (bei Umweltbehörden z.B. wirtschaftliche Effekte) war eine Delegation der Kriteriendefinition durchaus legitim. Leider mußte festgestellt werden, daß teilweise auch innerhalb der Zuständigkeitsbereiche keine sinnvolle Kriterienerstellung möglich war. Noch drastischer wurde das Problem als Attribute für Kriterien zu erstellen waren. Es war den Personen nur in den seltensten Fällen möglich, Maßstäbe zu definieren, die den Anforderungen aus Abschnitt 3.6. genügten und damit für die Quantifizierung brauchbar waren. Deshalb mußten viele, eigene Vorschläge zu Attributen unterbreitet werden. Allergrößte Schwierigkeiten bei der Attributentwicklung bereiteten die Umweltkriterien.
- Hier wird ein grundsätzliches Problem bei öffentlichen Entscheidungen offensichtlich. Die anwendbaren Gesetze und Richtlinien definieren grob den Handlungsspielraum, geben innerhalb dessen jedoch keinerlei weitere Handlungsanweisungen. Eine Formalisierung innerhalb des Handlungsspielraumes wird von den zuständigen Behörden in der Regel nicht vorgenommen. Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß bei öffentlichen Entscheidungen nicht davon ausgegangen werden kann, daß fachliche Bewertungsansätze vorhanden sind, die im Rahmen der EA nur noch formalisiert werden müssen, oder daß diese im Zuge einer EA-Anwendung einfach erstellt werden können. Vorschläge zur Lösung dieser Problematik sind in 6.2.1. und 6.4.2. beschrieben.
- Teilweise wurde die Definition von Kriterien prinzipiell abgelehnt, mit der Begründung, daß sie zu einer reduzierten Problemsicht führen und die Komplexität der Auswirkungen nicht adäquat quantitativ erfassen. Insbesondere das Kriterium 'Bilanz der Flächennut-

zungstypen', mit dem versucht wurde, die Auswirkungen auf Ökosysteme zu erfassen, war in der Kritik. Die Ursache dieser Weigerung waren häufig Bedenken wegen mißbräuchlicher Verwendung von Kriterien (vgl. 5.3.4.1.). Man muß jedoch auch mit der Möglichkeit rechnen, daß einige beteiligte Personen den analytischen Bewertungsansatz der EA grundsätzlich zugunsten einer holistischen Betrachtungsweise oder aus verhandlungsstrategischen Gründen ablehnen.

- Während der Diskussion der Legitimität der Kriterien bestätigten die meisten befragten Personen die Relevanz der von ihnen definierten Kriterien für die Entscheidung. Auf die Erläuterung hin, daß damit auch ggf. höhere Ausgaben (für alle) verbunden sind, zogen einige Personen ihre Aussage zurück. Begründet wurde dies damit, daß die Kriterien zwar persönlich als relevant empfunden werden (z.B. die wirtschaftlichen Effekte der Sanierung), daß es jedoch gegenüber den Genehmigungsbehörden und dem Sanierungsverpflichteten schwer fällt, Kriterien mit in die Entscheidung einzubeziehen, die über den gesetzlichen Anspruch nach Beseitigung der Gefährdung hinausgehen⁵⁴. Andere Personen blieben bei ihrer Meinung, meistens mit dem Hinweis, daß durch den Fördermittelanteil der Staat ein Recht auf eine ganzheitliche Optimierung erwirbt.

Trotz der genannten Probleme waren die aufgestellten Kriterienlisten eine gute Grundlage zur weiteren Strukturierung der Entscheidung. Es zeigte sich, daß insbesondere eine gute Vorbereitung, die in der Erstellung einer eigenen Kriterienliste und in Probeinterviews besteht, wesentlich die Qualität und Effektivität des erzielten Ergebnisses verbessern können.

5.3.2.2. Diskussion der entstandenen Kriterienliste

Die personenspezifischen Kriterienlisten wurden anschließend zu einer Gesamtliste zusammengefaßt (s. Tab. 3.) und zur Diskussion und Revision an die beteiligten Personen verschickt. Insbesondere bei den umweltspezifischen Kriterien ergab sich erheblicher Entwicklungs- und Änderungsbedarf. Die Arbeiten an diesem Kriterienkomplex zogen sich bis weit in die Phase der Alternativenerstellung und -quantifizierung hin. Deshalb war eine Gruppendiskussion über die Gesamtkriterienliste leider nicht durchführbar.

Die folgende Liste enthält die Kriterien, die für die Sanierungsentscheidung beim betrachteten Anwendungsfall verwendet wurden und eine Diskussion mit Verbesserungsvorschlägen und Hinweisen. Nicht enthalten sind die Randbedingungen (Technische Durchführbarkeit, Rechtliche Genehmigungsfähigkeit, Beachtung nutzungsabhängiger und -unabhängiger Grenzwerte / Sanierungsziele, Ausschluß von vermeidbaren Gefahren für Menschen), die, so sie nicht eingehalten werden, zum Ausschluß des betreffenden Sanierungsverfahrens führen.

1. Monetäre Kriterien

a. Fixkosten [MDM]

Die Fixkosten beinhalten sämtliche Kosten, die zur Durchführung eines Sanierungskonzeptes aufgewendet werden müssen. Die Kosten sind bis zum Übergang in die Überwa-

⁵⁴ Unter Gefährdung im engeren Sinne versteht man einen "mit hinreichender Sicherheit eintretenden Schaden" für Personen oder der Umwelt /RSU-89/. Vor kurzem wurde versucht, den Gefährdungsbegriff derart auszulagern, daß damit eine "Gefährdung des Wohles der Allgemeinheit" zu verstehen ist /Ruf-95/. Das Allgemeinwohl ist jedoch ein sehr weitgefaßter Begriff, so daß über diese Betrachtungsweise auch wirtschaftliche und soziale Komponenten in den Rechtsanspruch nach einer Gefährdungsbeseitigung eingebracht werden können. Es bleibt abzuwarten, ob diese Sichtweise rechtlich durchsetzbar ist.

1. Monetäre Kriterien	
a. Fixkosten	[MDM]
b. Laufende Kosten	[MDM/a]
c. Dauerhaftigkeit der Sanierung	[MDM/a]
2. Wirtschaftliche Effekte	
a. Veränderung des Verkehrswertes	[MDM]
b. Permanenter Flächenverbrauch	[ha]
c. Projektwert	
i. Saisonarbeitsplätze	[Anzahl]
ii. Steuereinnahmen für die Gemeinde	[MDM/a]
3. Deponievolumenbilanz	
a. Bilanz: Potentielles Deponievolumen	[Mm ³]
b. Bilanz: Existierendes Deponievolumen	
i. Bilanz Hausmülldeponievolumen	[Mm ³]
ii. Bilanz Sondermülldeponievolumen	[Mm ³]
4. Bilanz der Flächennutzungstypen	[Punkte]
5. Auswirkungen auf Schutzgüter	
a. Grundwasser	[-]
b. Oberflächenwasser	
i. Konzentration	[%]
ii. Immissionsrate	[Mm ³ /a]
c. Luft	[-]
d. Boden	[-]

Tabelle 3. Überblick über die verwendeten Kriterien und Attribute

chungsphase aufzusummieren. Die Fixkosten reduzieren sich ggf. durch Einnahmen, die durch die Sanierung erwirtschaftet werden (insbesondere durch das nach der Sanierung zur Verfügung stehende Deponievolumen). Nicht enthalten sind die Kosten für nicht direkt mit der Sanierung zusammenhängende Maßnahmen (z.B. Deponiebetrieb, Investitionen für wirtschaftliche Projekte).

b. Laufende Kosten [MDM/a]

'Laufende Kosten' ist die Kostenrate, die nach Abschluß aller Sanierungsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sanierungsfunktion aufzuwenden ist (z.B. für Überwachung, Reparatur, Wasserhaltung).

Diskussion des Kriteriums 'Laufenden Kosten':

- Sanierungszeiträume

Für das betrachtete Beispiel erfolgt bei allen betrachteten Konzepten der Sanierungsabschluß bzw. der Übergang zur Überwachungsphase zum gleichen Zeitpunkt (ca. im Jahr 2015). Deshalb konnte auf die Berücksichtigung unterschiedlicher Sanierungszeiträume verzichtet werden. (s.u. Zeitliche Struktur der Kosten).

- **Quantifizierbarkeit**

Einige Bestandteile der laufenden Kosten (z.B. Reparaturen) waren wegen des derzeitig mangelhaften Informationsstandes über die Langzeitstabilität von Sicherungsmaßnahmen lediglich auf der Basis subjektiver Einschätzungen quantifizierbar. Diese Kostenbestandteile sollten separat betrachtet werden. Denkbar ist eine Behandlung analog zur Dauerhaftigkeit.

c. Dauerhaftigkeit der Sanierung [MDM/a]

Zur Bewertung der Dauerhaftigkeit der Sanierung wurde die Lebensdauer der zur Sanierung errichteten Bauwerke sowie die Kosten für eine erneute Errichtung auf der Basis heutiger Preise abgeschätzt. Aus diesen beiden Angaben wurde eine formale Kostenrate gebildet. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung über diese Kostenrate berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit der Notwendigkeit einer Kompletterneuerung.

Diskussion des Kriteriums 'Dauerhaftigkeit':

- **Grundgedanke des Kriteriums**

Einige Sanierungsverfahren sind dadurch gekennzeichnet, daß sie keinen dauerhaften Schutz vor weiteren Umweltverschmutzungen bieten. Insbesondere bei den Sicherungsvarianten muß damit gerechnet werden, daß das eingebrachte Dichtelement keine unbegrenzte Lebensdauer hat. Dieser Zeitraum kann zwar einerseits durch Reparaturen verlängert werden und andererseits führt auch der Schadstoffabbau in der Deponie zu einer Verringerung des Gefährdungspotentials, trotzdem verbleibt die Möglichkeit, daß langfristig eine Kompletterneuerung der gesamten Dichtwand notwendig werden könnte. Beim Vergleich mit Varianten, die eine abschließende Lösung des Altlastenproblems darstellen, mußte dieser Tatsache Rechnung getragen werden, was mit diesem Kriterium erreicht werden sollte. Die Kostenrate der 'Dauerhaftigkeit' unterscheidet sich von der der 'Laufenden Kosten', da die erstere nicht real anfällt, sondern nur die quantitative Berücksichtigung der Dauerhaftigkeit der Sanierung ermöglicht.

- **Verläßlichkeit der Angaben**

Die zur Quantifizierung notwendigen Informationen (Neusanierungskosten, Lebensdauer, Nachsanierungswahrscheinlichkeit) waren äußerst schwierig abzuschätzen, da auf keinerlei Erfahrung zurückgegriffen und somit nur subjektive Einschätzungen verwendet werden konnten. Deshalb sollte bei der Quantifizierung unbedingt ein Konsens zwischen verschiedenen Experten angestrebt werden. Trotzdem erscheint es notwendig, auch diese unsicheren Eingangsinformationen zu berücksichtigen. Wie schon oben erwähnt, würde die Vernachlässigung einer möglichen Nachsanierung Sanierungsvarianten, die lediglich zu einer zeitlichen Verschiebung des Sanierungsproblems führen, gegenüber abschließenden Varianten unangemessen bevorzugen.

- **Legitimität des Kriteriums**

Mit diesem Kriterium wird versucht, auch die langfristigen Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen zu betrachten. Diese werden in der Regel nicht für die derzeitige Generation wirksam, sondern erst in ferner Zukunft (50-100 Jahre). Deshalb kann dieses Kriterium nicht im Rahmen einer Optimierung der aktuellen, gesellschaftlichen Situation begründet werden, sondern es muß sich auf einen gesellschaftlichen Konsens - hauptsächlich getragen von normbildenden Institutionen (Umweltministerium) - stützen.

- **Kostenrate als Indikator**

Die Bildung einer formalen Kostenrate aus Nachsanierungskosten und Lebensdauer ist verschiedentlich auf Kritik gestoßen. An diesem Punkt sind weitere Verbesserungen notwendig. Insbesondere die in 6.4.4. vorgestellte Methode zur indirekten Ermittlung einer Gesamtnutzenfunktion erscheint hier erfolgversprechend.

Diskussion der 'Monetären Kriterien':

- **Zeitliche Struktur der Kosten**

Das verwendete Kostenmodell vereinfacht die zeitliche Struktur der Kosten auf drei Kenngrößen: die Fixkosten, die 'Laufenden Kosten' und die Dauerhaftigkeit. Zur Abgrenzung der Fixkosten gegenüber den 'Laufenden Kosten' wurde der Zeitpunkt betrachtet, in dem alle Sanierungsmaßnahmen abgeschlossen sind und ein Übergang in die Überwachungsphase erfolgt. Zur Unterscheidung der 'Laufenden Kosten' von der Dauerhaftigkeit wurde der Begriff der Lebensdauer des zur Sanierung errichteten Bauwerkes eingeführt. Diese einfache Kostenstruktur war zwar für den betrachteten Anwendungsfall ausreichend, für andere Sanierungsfälle, bei denen ein Abgleich zwischen der zeitlichen Kostenstruktur und Finanzierungsmodellen entscheidungsbestimmend wird, ist sie nicht mehr ausreichend. Dann muß einerseits die konkrete Form der zeitlichen Kostenstruktur ermittelt werden und andererseits adäquate Gesamtnutzenfunktionen zur Erfassung zeitlicher Präferenzen Verwendung finden. Ansätze dazu finden sich in /Bell-75, Keeney-80/.

Eine weitere Vereinfachung, die gemacht wurde, ist die Vernachlässigung einer Veränderung der Kosten mit der Zeit. Hier treten zwei gegensätzliche Effekte auf. Die Inflation führt dazu, daß Kosten, die zu einem späteren Zeitpunkt anfallen, gegenüber gleichgroßen, aktuellen Kosten bevorzugt werden. Die Kostensteigerungen führen hingegen dazu, daß Kosten für spätere Leistungen nominell höher ausfallen als für aktuelle Leistungen. Für den betrachteten Anwendungsfall wurde vereinfachend angenommen, daß sich diese beiden Effekte kompensieren.

- **Finanzierung**

Die Angabe der drei monetären Kenngrößen beinhaltet noch keine Aussage über die Finanzierung oder die Kostenaufteilung. Es wurde angenommen, daß sich dieses in einem separaten, nachfolgenden Schritt behandeln läßt, der nicht mehr notwendigerweise Teil der EA-Unterstützung ist. Diese Annahme hat sich nicht bewährt. In der Regel ist für die einzelnen Parteien lediglich der Kostenbetrag entscheidungsrelevant, den sie für die Sanierung entrichten müssen. Eine personenspezifische Unterstützung der Entscheidung setzt somit die Kenntnis der Kostenaufteilung voraus. Dabei können für verschiedene Sanierungsverfahren durchaus unterschiedliche Kostenaufteilungen verwendet werden⁵⁵. Auf der anderen Seite erscheint es kaum praktikabel, daß sich die einzelnen Parteien a-priori auf ein Kostenmodell (z.B. eine fixe, prozentuale Aufteilung) einigen. Als Ausweg bietet sich an, daß die einzelnen Personengruppen Gelegenheit erhalten, unabhängig voneinander verschiedene Finanzierungs- und Kostenteilungsmodelle zu testen, einen eigenen Vorschlag zu entwickeln und so eine Konsensdiskussion vorzubereiten.

⁵⁵ Z.B. könnten innovative, umweltfreundliche Verfahren eine höhere, staatliche Förderquote bekommen, als konventionelle.

2. Wirtschaftliche Effekte

Die folgenden Kriterien beschreiben die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen auf die wirtschaftliche Entwicklung der Gemeinde Bergen bzw. der angrenzenden Region. Die Deponie Bergen ist aufgrund ihrer Lage und dem gering entwickelten infrastrukturellen Umfeld kein gutes Beispiel zur exemplarischen Berücksichtigung wirtschaftlicher Effekte. Das spiegelt sich in den Ergebnissen des Entscheidungsmodells (s. Abschnitt 5.3.5.) deutlich wider⁵⁶.

a. Veränderung des Verkehrswertes [DM]

Dieses Kriterium ist ein Maß für die Verkehrswertsteigerungen, die im Umfeld der Deponie Bergen durch die Einleitung von Maßnahmen zur Gefährdungsabwehr zu verzeichnen sein werden. Der Betrachtungszeitpunkt ist das Jahr 2015. Die Verkehrswerte im Jahr 2015 wurden auf der Basis heutiger Preise durch Vergleich mit ähnlichen Flächen gewonnen.

Diskussion des Kriteriums 'Veränderung des Verkehrswertes':

- **Besitzer der betroffenen Flächen**

Die Besitzverhältnisse wurden in die Entscheidung nicht einbezogen. Es wurde pauschal angenommen, daß eine Rückübertragung von der Braunkohlefirma auf die Gemeinde stattfindet. Für den betrachteten Anwendungsfall war diese Annahme gerechtfertigt, für andere Sanierungsfälle muß jedoch genauer zwischen verschiedenen Flächenbesitzern (Land, Gemeinde, Privatpersonen, Unternehmen) differenziert werden.

- **Legitimität des Kriteriums**

Bei diesem und bei den weiteren, wirtschaftlichen Kriterien erhebt sich die Frage nach der Legitimität. Eine Sanierungsmaßnahme ist primär nicht auf eine Wirtschaftsförderung ausgerichtet. Deshalb muß geprüft werden, ob der Sanierungsverantwortliche rechtlich zu einer Berücksichtigung dieses Kriteriums gezwungen werden kann. Bei einer engen Auslegung des Begriffes 'Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung' /RSU-89, S. 200/ ist dies zu verneinen, bei einer weiten Auslegung /Ruf-95/ zu befürworten. Als Ausweg bietet sich eine Berücksichtigung dieses Kriteriums bei den Bewertungssystemen staatlicher Institutionen in Kombination mit einer Variation des Förderprozentsatzes nach diesem Kriterium an. So kann indirekt die Berücksichtigung dieses Kriteriums durch den Sanierungsverantwortlichen erzwungen werden.

- **Wahl des Bezugspunktes**

Als Bezugspunkt für die Abschätzung des Verkehrswertes wurde das Jahr 2015, d.h. ein ca. 20 Jahre in der Zukunft liegender Zeitpunkt gewählt. Zum einen ergibt sich wiederum das Problem des Ausgleiches zwischen Inflation und Wertsteigerung, zum anderen muß jedoch überlegt werden, inwieweit diese zukünftige Wertsteigerung für heutige Entscheidungen von Bedeutung ist. Besonders deutlich wird dieses Problem bei einem Vergleich der sofortigen Wertsteigerung mit einer gleichgroßen Wertsteigerung zum Jahr 2015. Interessanterweise wurde von den beteiligten Personen der Zeitpunkt der Wertsteigerung nie explizit berücksichtigt.

⁵⁶ Durch den in der Umgebung von Bergen geplanten Natur- und Wildpark (s Fn. 50) bekommen diese Aspekte ein viel stärkeres Gewicht.

b. Permanenter Flächenverbrauch [m²]

Dieses Kriterium ermöglicht über den Verkehrswert hinaus eine Negativbewertung für dauerhaft abgesperrte Flächen, da diese die Entwicklungsmöglichkeiten benachbarter Flächen einschränken.

Diskussion des Kriteriums 'Permanenter Flächenverbrauch':

- Quantitativität des Kriteriums

Im Zuge der Quantifizierung wurde deutlich, daß dieses Kriterium kein gutes Maß für die Auswirkungen von Absperrungen auf die wirtschaftlichen Entwicklung der betroffenen Region ist. Die Auswirkungen sind abhängig vom abgesperrten Objekt (vergiftetes Oberflächengewässer oder technische Anlage). Schließlich erschienen die Folgewirkungen der Absperrung durch die anderen Wirtschaftskriterien offensichtlich schon ausreichend erfaßt.

c. Änderung im Projektwert

Die durch die Sanierung der Deponie im Umfeld realisierbaren, wirtschaftlichen Projekte werden durch zwei Kenngrößen charakterisiert:

- entstehende Saisonarbeitsplätze und
- zusätzliche, jährliche Steuereinnahmen der Gemeinde

Diese Kenngrößen sollten den Entscheidern verdeutlichen, inwieweit durch die Sanierungsmaßnahme die wirtschaftliche Entwicklung der betroffenen Gemeinde gefördert wird.

- i. Saisonarbeitsplätze [Anzahl]
- ii. Steuereinnahmen für die Gemeinde [MDM/a]

Diskussion des Kriteriums 'Projektwert':

- Interpretation

Bei der Bewertung von Ergebnissen auf diesem Kriterium muß die Bedeutung der Angaben genau berücksichtigt werden. Falls z.B. eine gewisse Anzahl von Saisonarbeitsplätzen prognostiziert wird, so bedeutet das nicht, daß diese nach Abschluß der Sanierung wirklich existieren, sondern es ist lediglich ein Entwicklungspotential dafür vorhanden. Die Realisierung der Arbeitsplätze ist an Investoren und weitere, staatliche Zuschüsse im Rahmen der Wirtschaftsförderung gebunden. Das bedeutet, bei der Bewertung muß der Planungsstand von Projekten mit berücksichtigt werden. Es sollten deutliche Bewertungsunterschiede zwischen potentiellen Projekten, wie bei dem betrachteten Anwendungsfall, und unmittelbar vor der Realisierung stehenden Projekten gemacht werden.

3. Deponievolumenbilanz

Zur Bewertung der Auswirkungen der Sanierungsmaßnahme auf die Abfallentsorgung wurde ein Bilanzkreis definiert, der die Deponie Bergen einschließlich etwaiger, zusätzlicher, für die Sanierung benötigter Flächen umfaßt.

a. Bilanz: Potentielles Deponievolumen [Mm³]

Mit diesem Kriterium wird der Verlust von Flächen erfaßt, die für eine Müllentsorgung geeignet wären. Das angegebene Volumen ist eine Abschätzung des auf diesen Flächen ablagerbaren Volumens.

Anmerkungen zum potentiellen Deponievolumen:

- Ursprung des Kriteriums

Dieses Kriterium wurde im Zusammenhang mit der Bewertung der Deponiebilanz der Umlagerung auf das benachbarte Hochplateau entwickelt. Auf dieser Kippe befindet sich bereits eine Deponie und es erschien denkbar, diesen Deponiestandort zukünftig auszubauen. Durch die Umlagerung wird diese Deponiefläche belegt und steht nicht mehr für die kommunale Müllentsorgung zur Verfügung.

- Bewertung des Kriteriums für den betrachteten Anwendungsfall

Bei Gesprächen mit den zuständigen Abfallbehörden wurde festgestellt, daß der Ausbau der auf dem Hochplateau befindlichen Deponie zum Zwecke der kommunalen Abfallentsorgung nicht genehmigungsfähig ist. Die Genehmigung eines Ausbaues dieser Deponie ist lediglich im Zusammenhang mit einer Sanierung der Deponie Bergen denkbar. Deshalb ergibt sich durch die Umlagerung kein Verlust von Flächen für eine Abfallentsorgung.

- Verallgemeinerung des Ansatzes

Der Verlust von Flächen, die für eine Abfallentsorgung geeignet sind, ist nur ein Spezialfall. Allgemein muß betrachtet werden, inwieweit durch die Sanierung wertvolle Flächen belegt werden (z.B. für Gewerbegebiete). Häufig reicht deshalb eine reine Betrachtung des Verkehrswertes nicht aus. Die unter dem Projektwert aufgeführten Kennziffern sind ein Beispiel für zusätzliche Kriterien zur quantitativen Erfassung des durch die Sanierung verursachten Schadens bzw. Nutzens bzgl. in Anspruch genommener Flächen.

b. Bilanz: Existierendes Deponievolumen

In diesem Kriterium wird die konzeptspezifische Veränderung des existierenden und daher zur Abfallentsorgung verfügbaren Deponievolumens berücksichtigt.

i. Bilanz Hausmülldeponievolumen [Mm³]

ii. Bilanz Sondermülldeponievolumen [Mm³]

Diskussion der Kriterien 'Existierendes Deponievolumen':

- Grundgedanke der Kriterien

Dieses Kriterium kann je nach Standpunkt verschieden interpretiert werden. Aus Sicht des Deponiebetriebers ist es eine wirtschaftliche Rechengröße. Deponievolumen hat einen monetären Wert, der sich aus den Einnahmen berechnen läßt. Somit kann es relativ einfach in Relation zu den Fixkosten gesetzt werden. Aus Sicht des Staates kann mit diesem Kriterium berücksichtigt werden, daß Deponievolumen nur begrenzt verfügbar ist und somit eine Ressource darstellt. Sanierungsverfahren, bei denen große Mengen Haus- oder Sondermüll anfallen können somit über die reinen Entsorgungskosten hinaus negativ bewertet werden. Die Frage, welchen Ressourcenwert Deponievolumen hat ist nur rein subjektiv beantwortbar.

- Bewertung dieses Kriteriums für den betrachteten Anwendungsfall

Wiederum mußte nach Gesprächen mit den zuständigen Abfallbehörden festgestellt werden, daß dieser Grundgedanke für die spezifische Situation des Standortes Bergen nicht zutreffend ist. Weder bei Haus- noch bei Sondermüll sind Entsorgungsengpässe vorhanden, womit diese Kriterien nicht entscheidungsrelevant sind.

4. Bilanz der Flächennutzungstypen [Punkte]

Mit diesem Kriterium wird bilanziert, welche Auswirkungen die Sanierungsmaßnahme auf den Bestand an Naturflächen hat. Auf der Basis eines (nichtveröffentlichten) Entwurfes einer Rechtsverordnung /SMU-94/ wurde dazu ein Punktesystem entwickelt. Der Bezugszeitpunkt für alle Varianten ist das Jahr 2015 nach Abschluß aller Sanierungsmaßnahmen.

Für Naturflächen, die nach Abschluß der Sanierungsmaßnahme verschmutzt sind, wurden Abschläge vorgenommen:

- 0%-Abschlag unterhalb des Maßnahmewertes
- 50%-Abschlag zwischen Maßnahmewert und 5-fachen Maßnahmewert
- 100%-Abschlag oberhalb des 5-fachen Maßnahmewertes

Anmerkungen zu den Flächennutzungstypen:

- Wissenschaftliche Fundierung

Das Attribut dieses Kriteriums mußte wegen fehlender Zuarbeit von den zuständigen Fachbehörden selbständig erstellt werden. Es wurde insbesondere wegen des stark vereinfachten Abschlagssystems heftig kritisiert, da eine Analyse der Auswirkungen der prognostizierten Schadstoffkonzentrationen auf das Ökosystem des betroffenen Oberflächengewässers lediglich von Fachleuten vorgenommen werden kann. Deshalb ist das verwendete Abschlagssystem lediglich als temporäre Hilfskonstruktion für den betrachteten Anwendungsfall zu betrachten. Bei anderen Sanierungsfällen muß es durch ökotoxikologische Analysen ersetzt werden. Das Prinzip, den Wertverlust verschmutzter Flächen durch einen Punktabschlag zu charakterisieren, ist jedoch durchaus vertretbar.

- Rechtliche und ethische Vertretbarkeit des Kriteriums

Dieses Kriterium in Verbindung mit den monetären legt die Vermutung eines 'Verkaufes der Natur' nahe. Daher erhebt sich die Frage, ob dieses Kriterium rechtlich und ethisch gerechtfertigt ist, oder ob der Schutz der Natur eine Randbedingung darstellt und kein abwägbares Kriterium ist. Dieses kann nur im Rahmen einer politischen Grundsatzentscheidung beantwortet werden.

5. Auswirkungen auf Schutzgüter

Abhängig von der geplanten Art der Folgenutzung sind von den Sanierungsverfahren die vorläufigen Sanierungszielwerte für Schadstoffe einzuhalten. Unterschreiten Sanierungsverfahren die Zielwerte, so sollten sie gegenüber Verfahren, die diese nur knapp einhalten, besser bewertet werden. Dieser Ansatz wird durch die im folgenden definierten Kriterien berücksichtigt.

a. Grundwasser [-]

Im betrachteten Anwendungsfall wird das gesamte Grundwasser, das den Deponiekörper durchströmt und dadurch mit Schadstoffen belastet wird, durch die hydraulischen Verhältnisse in das Oberflächenwasser umgelenkt. Somit ist dieses Schutzgut nicht mehr bewertungsrelevant.

b. Oberflächenwasser

Diese Kriterien erfassen die Resteffekte auf das Schutzgut Oberflächenwasser nach der Sanierung durch Angabe der Schadstoffkonzentrationen und/oder der verbleibenden Schadstoffimmissionsraten.

i. Konzentration [%]

Zur Charakterisierung der Schadstoffkonzentration wurde die Maximalkonzentration des wichtigsten Schadstoffes in Relation zu seinem Maßnahmewert im Nutzungsgebiet verwendet.

ii. Immisionsrate [Mm³/a]

Dieses Kriterium erfaßt die langfristige, mittlere, jährliche Emissionsrate des wichtigsten Schadstoffes gemessen am Volumen des bis an die Grenzwerte verschmutzten Wassers.

Anmerkungen zum Kriterium 'Immisionsrate':

- Verwendung

Die Immisionsrate als Kennzeichen des Erfolges einer Sanierung wurde von den Entscheidern erst sehr spät genannt. Deshalb war es nicht mehr möglich, dieses Kriterium während der Erstellung der Gesamtnutzenfunktionen zu berücksichtigen.

c. Luft [-]

Aus Abschätzungen der Deponiegasemissionen wurde die bodennahe Schadstoffkonzentration berechnet. Aus den Zahlenwerten war ersichtlich, daß selbst unter pessimistischen Annahmen, die Schadstoffkonzentrationen weit unter den Grenzwerten liegen. Deshalb wurde die Luft als Schutzgut nicht näher betrachtet.

d. Boden [-]

Im betrachteten Anwendungsfall waren keine direkt oder indirekt betroffenen Böden vorhanden. Die Deponiefläche wird in allen Varianten durch unbelastetes Material abgedeckt und ist damit nicht mehr kontaminiert.

Diskussion der Kriteriengruppe 'Schutzgüter':

- Definitionsdefizite

Insgesamt muß hinsichtlich der unter der Kriteriengruppen 'Schutzgüter' aufgelisteten Unterkriterien konstatiert werden, daß für die zuständigen Umweltfachbehörden großer Definitionsbedarf vorhanden ist. Insbesondere folgende Punkte bedürfen einer Klärung:

- Sind die Umweltauswirkungen durch Randbedingungen oder Kriterien zu erfassen?

Es muß definiert werden, inwieweit und unter welchen Bedingungen durch Schutzgüter Randbedingungen für die Sanierung gesetzt werden und wann negative Effekte auf die Schutzgüter unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit zu betrachten sind. Der bisherige Ansatz, auf Nutzungen basierende Sanierungszielwerte (Randbedingungen!) zu definieren, vernachlässigt den Schutz ungenutzter Schutzgüter, ist nicht in der Lage großräumige, niedrigkonzentrierte Emissionen angemessen zu berücksichtigen und gibt keinerlei Möglichkeiten zur Berücksichtigung des Emissionszeitverhaltens. Er gibt zudem keinerlei Hinweise hinsichtlich der Verhältnismäßigkeit von Sanierungen.

- Betrachtungsgebiet

Das Betrachtungsgebiet der Auswirkungen verschiedener Sanierungsmaßnahmen sollte für alle Altlasten einheitlich festgelegt werden. Möglich ist eine emissionsorientierte, ursachenbezogene Betrachtung, die nur das Nahfeld der Altlast einbe-

zieht (z.B. Kriterien: Emissionsrate und Konzentration), oder eine wirkungsbezogene Betrachtung, in der die Effekte von Schadstoffemissionen (z.B. Kriterien: Flächennutzungstypen mit Abschlag, wirtschaftl. Effekte) unter Berücksichtigung aller betroffenen Flächen bilanziert werden. Kombinationen sind möglich, wobei jedoch Doppelbewertungen vermieden werden müssen.

5.3.3. Erstellung und Quantifizierung von Sanierungskonzepten

Die Aufstellung von möglichen Handlungsalternativen orientierte sich an dem in 5.3.1. definierten Entscheidungsgegenstand. Demnach war über vollständige Sanierungskonzepte inklusive Deponiebetriebsszenarien und Nutzungsszenarien für das nähere Umfeld der Deponie Bergen zu entscheiden (s. Abb. 31.).

Ein Ziel war es, die Sanierungsentscheidung methodisch interessant zu gestalten. Deshalb wurde bei der Auswahl der zu betrachtenden Sanierungsansätze darauf geachtet, möglichst verschiedene Techniken in den Vergleich aufzunehmen (d.h. nicht nur Sicherungsmaßnahmen). Neben Konzepten, die auf aktiven Maßnahmen zur Gefahrenabwehr beruhen, wurde auch eine 'Nullvariante', die lediglich eine Absperrung kontaminierter Gebiete vorsieht (Beschränkungsmaßnahme), betrachtet. Sie diente dazu, die Verhältnismäßigkeit einer Sanierung als Entscheidungsgegenstand zu etablieren und damit den methodischen Wert des Entscheidungsproblems für den Altlastensektor zu erhöhen.

Um die Erstellung von Sanierungskonzepten möglichst realitätsnah zu erproben, wurden Sanierungsfirmen, die bereits im Zusammenhang mit der Deponie Bergen im Gespräch waren, angesprochen und zur Abgabe von Sanierungsangeboten aufgefordert (s. 5.3.3.1.). Es wurden also keine abstrakten Sanierungsverfahren gegeneinander verglichen, sondern auf Angeboten basierende Sanierungskonzepte. Diese Vorgehensweise ließ erwarten, daß firmen-internes, aktuelles und detailliertes Know-how gewonnen und daher die Verwendung von fallunabhängigem Datenbankmaterial vermieden werden konnte. Für den realen Fall Bergen wurde erhofft, daß sich aus den Aussagen der Firmen Hinweise für sinnvolle Untersuchungen im Rahmen der technischen Erkundung ergeben würden.

Hinsichtlich der Erstellung von Sanierungsmaßnahmen mußte jedoch festgestellt werden, daß die Firmen lediglich Aussagen zu der Kernmaßnahme der Sanierung treffen konnten, die die Firmen selbst anbieten und durchführen können. Letztlich konnten von den Sanierungsfirmen nur Hinweise zu dem in Abbildung 31. grau dargestellten Themenbereich gewonnen werden. Neben den Nutzungs- und Deponiebetriebsszenarien (s. 5.3.3.2.) mußten deshalb auch noch

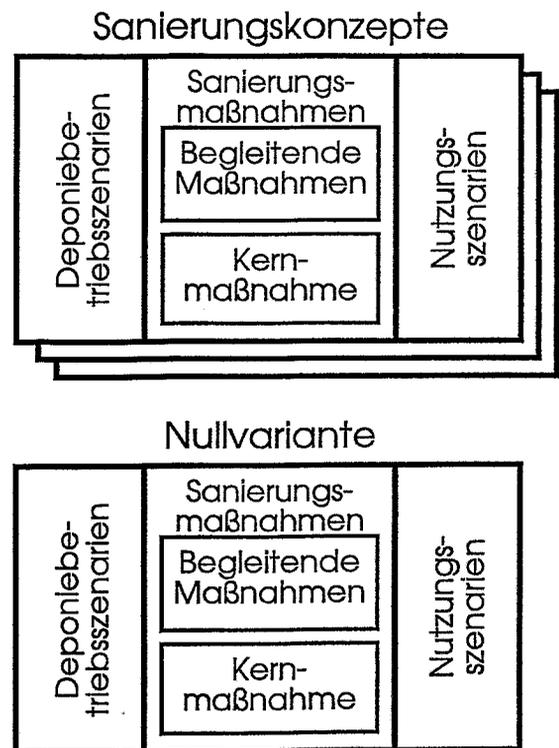


Abbildung 31. Bausteine der untersuchten Sanierungskonzepte.

die begleitenden Sanierungsmaßnahmen eigenständig konzipiert werden. Zwei Ansätze, wie die Erstellung von Sanierungskonzepten in der Praxis durchgeführt werden könnte, werden im Abschnitt 6.4.3. verglichen.

5.3.3.1. Erstellung von Sanierungsmaßnahmen

Die Sanierungsmaßnahmen sollten auf der Basis von Angeboten von Sanierungsfirmen konzipiert werden. Es wurde darauf geachtet, daß die angesprochenen Firmen entweder schon im Zusammenhang mit Bergen durch Präsentation eigener Vorschläge aktiv geworden waren, oder aber über erweiterte Erfahrungen im Bereich der Braunkohle verfügten und sich somit schnell und ohne großen Aufwand in die Problematik von Bergen einarbeiten konnten. Insgesamt erklärten drei Firmen ihre Bereitschaft zur kostenlosen Teilnahme und erschienen geeignet:

- Firma X mit Erfahrung im Bau von Dichtwänden im Braunkohletagebau
- Firma Y, die ein Verfahren zur Komplettabdichtung von Altlasten durch Injektion einer Montanwachsemulsion auf den Markt bringen möchte
- Firma Z, die über eine Referenzobjekt zur Deponieumlagerung in der Nähe der Deponie Bergen verfügt

Die geringe Anzahl betrachteter Sanierungsmaßnahmen liegt darin begründet, daß aufgrund des Bearbeitungsstandes von Bergen den Firmen nicht zugesichert werden konnte, daß im Anschluß eine Auftragsvergabe erfolgen wird. Eine kostenlose Zuarbeit konnten manche Firmen nicht liefern. Viele Firmen hatten zudem grundsätzliche Bedenken, vorab Informationen zu liefern. Sie befürchteten im Falle einer späteren Ausschreibung einen Wettbewerbsnachteil (s. a. 6.4.3.1.).

Um den Firmen die Abgabe eines Angebotes zu ermöglichen, waren kompakte, sanierungsrelevante Informationen zu dem Altlastenfall notwendig. Zu diesem Zweck wurde eine zusammenfassende Beschreibung von Bergen erstellt. Sie wurde ergänzt durch eine Erläuterung des Sanierungsbedarfes, durch eine Prognose der weiteren Entwicklung von Bergen samt Schadstoffaustrag und Folgenutzung sowie durch die Liste der entscheidungsrelevanten Kriterien insoweit sie für die Sanierungsanbieter von Interesse waren. Diese Standortbeschreibung wurde mit der Bitte um ein Sanierungsangebot an die ausgewählten Sanierungsfirmen verschickt und diente im weiteren als verbindliche Datengrundlage für die Erstellung von Sanierungskonzepten.

Von den Firmen kamen einerseits Anfragen zu weiteren, detaillierteren Informationen über die Altlast und deren Umfeld. Diese können im Rahmen der EA durch Informationswert-Untersuchungen behandelt werden (s. 3.12. u. 3.13.). Andererseits traten zwei Typen von Anfragen auf, die grundsätzliche Probleme der EA-Anwendung aufwarfen:

- a) Informationen, die über die Realisierbarkeit von Konzepten entscheiden
Firma X wollte Informationen über mögliche, im Kippenbereich lagernde Gegenstände, die die Einbringung einer Dichtwand unmöglich machen würden. Da lediglich machbare Sanierungskonzepte verglichen werden sollten, mußte angenommen werden, daß Gegebenheiten, die die Realisierbarkeit eines Konzeptes verhindern würden, nicht existieren. Die Möglichkeit des Scheiterns von Sanierungskonzepten muß bei einer erneuten EA-Anwendung anders behandelt werden (s. 7.1.).

b) Detaillierte Angaben zu den zu erreichenden Verfahrensparametern

Die Firma X verlangte, daß die von ihr zu erreichenden, technischen Eigenschaften der Dichtwand (hier: Undurchlässigkeit gemessen durch den k_f -Wert) von außen vorzugeben waren. Dies bedeutet, Firma X war nicht in der Lage, auf der Grundlage vorgegebener Randbedingungen (maximaler Schadstoffaustrag), die notwendigen, technischen Eigenschaften der Dichtwand zu berechnen. An diesem Punkt wurde ein prinzipielles Problem sichtbar, das aus der Struktur der auf dem Altlastensektor arbeitenden Firmen resultiert. Man kann diese Firmen grob in zwei Klassen einteilen:

- **Planungsfirmen** können Sanierungskonzepte auf der Basis verschiedener Verfahrenstypen unter Berücksichtigung vorgegebener Randbedingungen erarbeiten. In der Regel greifen sie dazu auf Erfahrungen vorheriger Fälle zurück, oder sie haben Kontakte zu den entsprechenden Verfahrens Anbietern (Baufirmen).
- **Sanierungsfirmen** verfügen über die Technik und über das Spezialwissen, um ein oder mehrere Sanierungsverfahren durchführen zu können. Manchmal verfügen sie auch über interne Planungsabteilungen, in der Regel kann jedoch die notwendige Planungsarbeit nicht von ihnen durchgeführt werden.

Diese Trennung führt zu einem Informationsproblem, weil aktuelle, detaillierte Informationen häufig nur bei den Sanierungsfirmen vorliegen, die diese jedoch erst im Zuge einer Ausschreibung preisgeben. Mehr zu dieser Problematik, die prinzipielle Auswirkungen auf die Erstellung verlässlicher Sanierungskonzepte hat, findet sich in 6.4.3. Firma X war eine Sanierungsfirma und deshalb nicht in der Lage, die zur Durchführung ihres Verfahrens nötige Planung zu leisten. Deshalb wurde angenommen, daß die konkreten Anforderungen an die Dichtwand sich erst durch ein Gutachten ergeben. Welche technische Variante der Dichtwand durch das Gutachten empfohlen würde, wurde subjektiv mit Wahrscheinlichkeiten abgeschätzt.

5.3.3.2. Erstellung von Nutzungs- und Deponiebetriebsszenarien

Die Entwicklung von Nutzungs- und Deponiebetriebsszenarien erfolgte in Abstimmung mit der Erstellung der technischen Sanierungsmaßnahmen. In der Praxis ist bei bekanntem Nutzungsziel die Reihenfolge festgelegt: die zu erreichende Nutzung setzt die Randbedingungen und bestimmt die sinnvollen Sanierungsmaßnahmen. Falls jedoch über die Nachnutzung noch keine verbindlichen Planungen existieren, wie dies im Falle Bergen der Fall ist (s.u.), sind die Erstellung von Nutzungskonzepten und Sanierungsmaßnahmen parallele Prozesse. Bei der Entwicklung von Nutzungs- und Deponiebetriebsszenarien wurden Literatur- und Expertenangaben, Angaben anderer Sanierungsfirmen, Beschreibungen anderer Sanierungsfälle und Abfallentsorgungsprojekte sowie eine Extrapolation der wirtschaftlichen Entwicklung einer vergleichbaren Region (Senftenberger See) auf das Gebiet um Bergen verwendet.

Als spezifisches Problem der Deponie Bergen stellte sich heraus, daß bei den zuständigen Planungsbehörden keinerlei verbindliche oder wenigstens abgestimmte Planungen vorhanden waren. Das bedeutete, für die weitere Entwicklung des Gebietes um Bergen mußten eigene Prognosen auf der Basis von Vergleichsfällen erarbeitet werden. Insbesondere über die zukünftige hydrologische Situation (Oberflächengewässer) mußten willkürliche Festlegungen getroffen werden, weil andernfalls sinnvolle Nutzungsszenarien nicht erstellbar gewesen wären.

Störend für die Prognose war weiterhin, daß halbwegs plausible Szenarien aufgrund des nur langsamen Grundwasserwiederanstieges sich über lange Zeiträume erstreckten. So mußte angenommen werden, daß sich ein stationärer Nutzungszustand erst im Jahr 2015 einstellt. Erst zu diesem Zeitpunkt werden sich die Oberflächengewässer um Bergen voll ausgebildet haben. Vor diesem Zeitpunkt ist demnach auch die Nutzung des unmittelbaren Umfeldes von Bergen nicht realistisch. Der lange Bezugszeitraum bedeutet, daß heute eine Entscheidung getroffen werden muß, deren Effekte erst in 20 Jahren sichtbar werden. Wider Erwarten war diese Tatsache jedoch für die Entscheidungen der befragten Personen nicht von Relevanz.

Hinsichtlich der Deponiebetriebsszenarien ergaben sich genehmigungsrechtliche Probleme. Es mußten hier z.B. Annahmen über die Genehmigungsfähigkeit des Betriebes von Deponien, die nicht der TA-Siedlungsabfall /TASi-93/ entsprechen, getroffen werden. Den beteiligten Genehmigungsbehörden war es aufgrund des derzeitigen Bearbeitungsstandes nicht möglich, verbindliche Aussagen zu treffen. Durch die Definition mehrerer Varianten der Sanierungskonzepte konnten verschiedene Genehmigungssituationen dargestellt werden. Somit ergab sich für die beteiligten Behörden die Möglichkeit, die Auswirkungen von bestimmten Festlegungen zu untersuchen (s. 5.3.3.3., Punkt 2, Genehmigungsvarianten).

5.3.3.3. Kurzbeschreibung der untersuchten Sanierungskonzepte

In der Kombination von Sanierungsmaßnahmen, Nutzungs- und Deponiebetriebsszenarien ergaben sich vier Grundkonzepte, die hier kurz beschrieben werden sollen /Schneider-96/:

1. Nullvariante

Die Abwehr der von der Deponie Bergen ausgehenden Gefahren für die Umwelt erfolgt durch Nutzungseinschränkungen im Umfeld der Deponie. Die Bereiche des Oberflächengewässers mit Überschreitungen der Schadstoffkonzentrationen über die Maßnahmenwerte⁵⁷ hinaus werden mit einem generellen Badeverbot belegt. Der Deponiekörper und angrenzende, kontaminierte Uferbereiche werden permanent abgesperrt. Mit dem durchzuführenden Monitoring ist sicherzustellen, daß die Absperrung weit genug erfolgt.

Der Einbau von Abfällen wird bei einer Höhe des Deponiekörpers von 105 mNN eingestellt. Auf den Deponiekörper wird eine ca. 1 m dicke Abdeckschicht aus Bauschuttrecyclingmaterial und Kippenmaterial aufgebracht. Unmittelbar an die Deponie angrenzend wird ein Damm bis auf eine Höhe von 106 mNN aufgeschüttet. Damit wird die Abschwemmung von festen Deponieinhaltsstoffen ins Oberflächengewässer unterbunden. Abschließend werden die Deponie und der aufgeschüttete Wall rekultiviert. Lediglich im Hinterland (in Abb. 30. mit 'Naherholungsgebiet' bezeichnet) kann eine niederwertige Nutzung (Privatgärten mit eingeschränkter Nutzung) erfolgen.

Genehmigungsfähigkeit:

Bei der betrachteten Nullvariante wird ein Austrag von Schadstoffen in Kauf genommen. Es wird jedoch durch Absperrungen verhindert, daß an zugänglichen Stellen des entstehenden Oberflächengewässers Konzentrationen über den Maßnahmewerten auftreten. Die Genehmigungsfähigkeit eines solchen Szenarios ist Grundbedingung der Nullvariante. Diese wurde aus methodischen Erwägungen vorausgesetzt.

⁵⁷ **Maßnahmenwerte** sind Schadstoffkonzentrationen oberhalb derer Maßnahmen ergriffen werden müssen. **Prüfwerte** sind Konzentrationen unterhalb derer kein Handlungsbedarf besteht.

2. Dichtwand

Kernmaßnahme des Dichtwandkonzeptes ist die seitliche Abdichtung der Deponie Bergen durch das Einbringen einer Dichtwand mit dem von der Firma X angebotenen, kontinuierlichen Schlitzfräsverfahren. Die Dichtwand wird dabei in die wasserundurchlässigen Schichten bei 30 mNN eingebunden. Vorbereitend erfolgt eine Aufschüttung und Verdichtung eines Dammes an der nördlichen und östlichen Seite der Deponie Bergen, um eine Nivellierung der Deponiekante auf 115mNN und eine 25m breite Trasse für das Einbringen der Dichtwand zu gewinnen.

Abschließend wird eine Sickerwasserfassung für die gekapselte Deponie gebaut und betrieben. Durch die Wasserhaltung in der Deponie ist zu gewährleisten, daß keine Schadstoffmigration nach außen erfolgen kann. Kleinere Undichtigkeiten müssen durch erhöhte Pumpraten kompensiert werden. Ergänzend wird eine Oberflächenabdichtung zur Minimierung der Sickerwassermengen durch Niederschlag aufgebracht. Zur Fassung des entstehenden Deponiegases wird eine Deponiegasfassungs- und Behandlungsanlage errichtet. Es erfolgt eine ständige Kontrolle des gekapselten Deponiekörpers, um Leckagen und Fehlstellen schnell zu erkennen. Die Reparatur erfolgt dann mit dem unter dem Konzept 'Nachträgliche Basisabdichtung' beschriebenen Reparaturverfahren.

Das Umfeld der Deponie und der Damm werden rekultiviert, das Oberflächengewässer und die Uferbereiche als Badegewässer freigegeben. Im Hinterland werden private Gartengrundstücke zur Naherholung eingerichtet.

Genehmigungsvarianten:

Für den Deponieabschluß sind drei Varianten vorgesehen:

- Erstens ist ein Deponieabschluß zum Beginn des Betrachtungszeitraumes im Jahr 1998 denkbar. Dies bedeutet, die sanierte Deponie wird nicht weiterbetrieben.
- Als zweite Variante wurde der Abschluß zum Jahr 2005 angenommen. Ab diesem Jahr darf gemäß der TA-Siedlungsabfall /TASi-93/ kein unbehandelter Müll mehr abgelagert werden.
- Die dritte Variante beinhaltet den Betrieb bis zum Jahr 2015. In den Jahren 2005-2015 werden die Verbrennungsrückstände aus einer thermischen Abfallbehandlungsanlage auf die Deponie verbracht.

Alle drei Genehmigungsvarianten lassen sich durch Einführung eines kontinuierlichen Modellparameters, das bis zum Abschluß verfüllbare 'Ablagerungsvolumen', darstellen (s. 5.3.5.3.).

3. Nachträgliche Basisabdichtung

Das Konzept, das auf der von der Firma Y angebotenen, nachträglichen Basisabdichtung beruht, ähnelt in vielen Punkten dem Dichtwandkonzept. Deshalb sollen hier nur die Unterschiede angeführt werden:

- Der zu errichtende Damm kann bei diesem Konzept kleiner ausgelegt werden, da er nicht mit schwerem Gerät befahren werden muß.
- Die Einkapselung der Deponie wird durch den Bau einer Dichtwanne um die Deponie Bergen mit einem Injektionsverfahren nach dem Jet-Grouting-Prinzip erreicht. Dabei wird alle 2-3 Meter eine Bohrung unter der Deponie hindurch eingebracht. Beim Zurückziehen des Bohrers wird V-förmig, unter hohem Druck Dichtmasse in das Erdreich

eingespritzt. Durch Überschneidung der so entstandenen Lamellen entsteht eine komplette Dichtwanne.

- Zusammen mit den Dichtlamellen werden Drähte eingebracht, die eine Detektierung von Fehlstellen auf der Basis geoelektrischer Messungen ermöglichen. Falls Fehlstellen festgestellt werden, müssen die entsprechenden Bahnen erneut injiziert werden. Dabei kann die Steuerung durch die Meßdrähte unterstützt werden. Dieses Prinzip läßt sich auch auf das Dichtwandkonzept anwenden. Hierbei müssen jedoch die notwendige Drähte im Schadensfall nachträglich eingebracht werden.

Genehmigungsvarianten:

Wie bei dem Dichtwandkonzept.

4. Umlagerung

Das von der Firma Z angebotene Umlagerungskonzept enthält als Kernmaßnahme die Auskoffierung der Deponie Bergen und die Verbringung auf eine neu zu errichtende Deponie auf einem benachbarten Hochplateau. Dazu ist eine Grundwasserabsenkung im Bereich der Deponie Bergen auf 68mNN notwendig. Es erfolgt eine Reinigung der gehobenen Wässer in einer benachbarten, bergbaulichen Wasserreinigungsanlage. Zur Vermeidung von Rutschungen während der Auskoffierung sind die Böschungen durch Sprengverdichtungen zu sichern. Die ausgekofferten Stoffe werden grob sortiert und anschließend je nach Art auf die neue Deponie (Stoffe der Deponieklasse II), in eine Bodensenke (Inertstoffe) oder extern entsorgt (Sonderabfälle).

Die ausgekofferte Deponie wird zum Teil mit Inertstoffen wiederverfüllt und das Umfeld rekultiviert. In Analogie zu dem Naherholungsgebiet 'Senftenberger See' /Rahmenplan/ wird der Bereich um Bergen touristisch voll erschlossen. So wurde für dieses Sanierungskonzept eine Feriensiedlung mit Gaststätte und Nebeneinrichtungen projektiert.

Genehmigungsvarianten:

Der Standort der neuen Deponie läßt es zu, dort eine Deponie zu errichten, die über das umzulagernde Volumen von Bergen weiteren Deponieraum bietet. Das Volumen der neuen Deponie wird damit zu einem kontinuierlichen Verfahrensparameter. Es muß festgelegt werden, ob der Bau und Betrieb der erweiterten, neuen Deponie genehmigungsfähig ist oder ob der Standort auf dem Hochplateau den Anforderungen der TA Siedlungsabfall nicht genügt.

5.3.3.4. Quantifizierung der Sanierungskonzepte

Als Ziel der Quantifizierung waren die in 5.3.2.2. definierten Kriterien für alle Alternativen numerisch zu bewerten. Dabei war zwischen der Erstellung und Quantifizierung der Konzepte ein gleitender Übergang zu verzeichnen.

Es zeigte sich, daß aufgrund der Charakteristik der angesprochenen Firmen (Sanierungsfirmen) diese nur bei einem Bruchteil der Kriterien (Fixkosten) für die Quantifizierung verwertbare Aussagen treffen konnten⁵⁸. Deshalb mußten viele, eigene Berechnungsmodelle erstellt werden und auf die Erfahrungen aus anderen Sanierungs- und Bauvorhaben, von Experten in

⁵⁸ Zur Berechnung der laufenden Kosten der Sicherungsmaßnahmen wurden z.B. Aussagen zu den Durchlässigkeiten der eingebrachten Dichtwand, zu den Reparaturraten und den Standzeiten erwartet. Diese konnten jedoch selbst von den Fachfirmen nicht geliefert werden.

der Forschung und anderer kompetenter Firmen sowie teilweise auf Literaturangaben zurückgegriffen werden.

Die erstellten Quantifizierungsmodelle wurden dann in Funktionsnetzwerke (s. 4.3.) umgesetzt. Einen Ausschnitt aus dem Funktionsnetzwerk zur Quantifizierung der Sanierungskosten der Umlagerung zeigt Abb. 32. Aus Gründen der Effektivität mußten dabei häufig Zusammenfassungen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Es zeigte sich, daß nicht für alle Modellteile eine detaillierte, probabilistische Behandlung durch Ermittlung subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilungen sinnvoll ist. Viele Modellteile wurden mit pauschalen Unsicherheitsspannen versehen.

Im Endergebnis dieses Arbeitsschrittes lag für alle Alternativen eine detaillierte, verbale Beschreibung, eine aufgeschlüsselte Quantifizierung und eine vereinfachte Netzwerkdarstellung vor. Einen Überblick über die Quantifizierungsergebnisse gibt Tabelle 4.

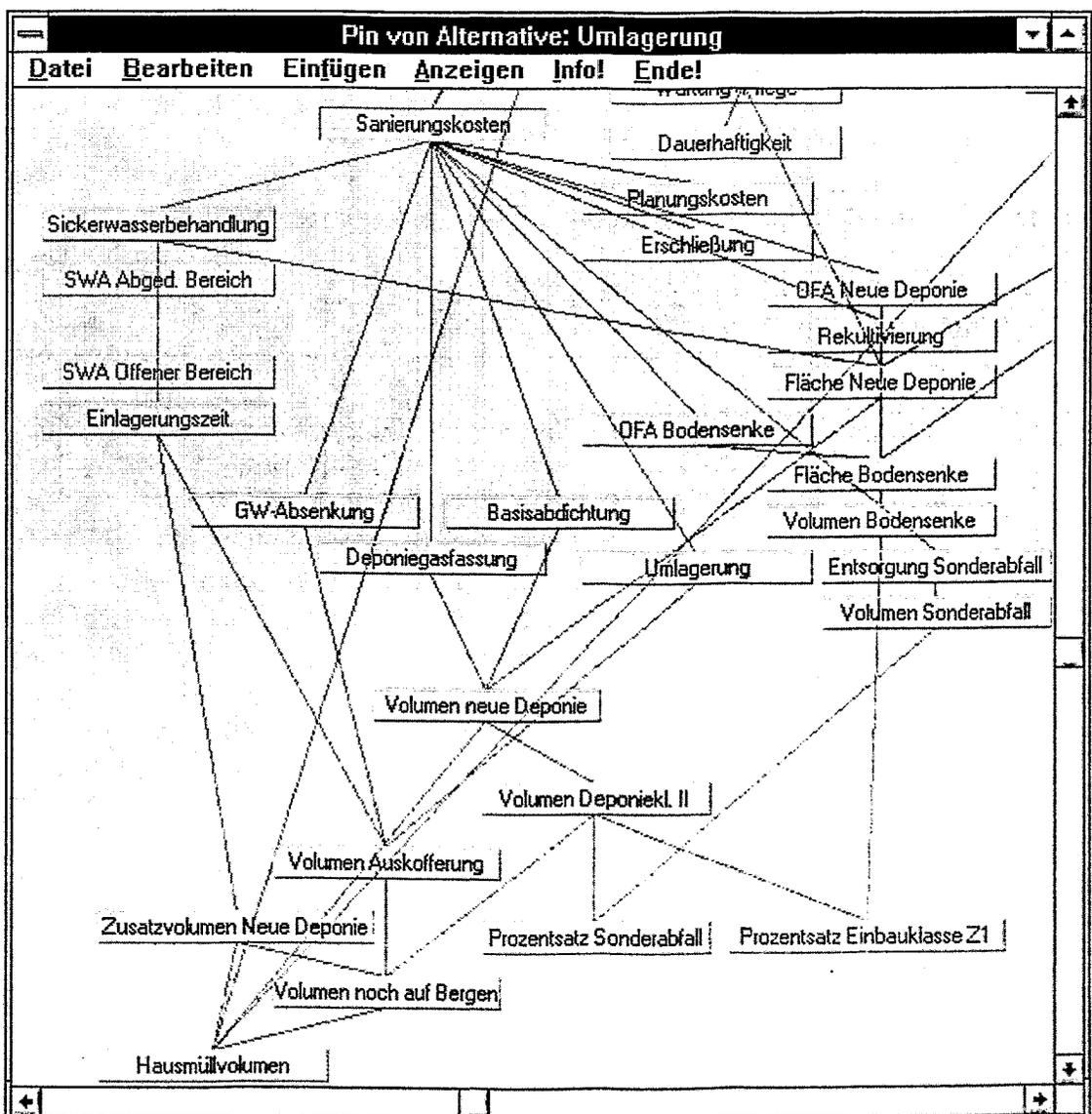


Abbildung 32. Ausschnitt aus dem Funktionsnetzwerk zur Quantifizierung der Sanierungskosten der Umlagerung

↓ Kriterien	Sanierungskonzepte →	Nullvariante	Dichtwand	Basisabdichtung	Umlagerung
Sanierungskosten	[MDM]	5	69 - 99	60 - 84	126 - 163
Laufende Kosten	[MDM/a]	0.045	0.08 - 0.64	0.07 - 0.54	0.1 - 0.67
Dauerhaftigkeit	[MDM/a]	0	0 - 1.6	0 - 1.6	0
Bilanz potentiell Deponievolumens	[Mm ³]	0	0	0	1.2 - 1.65
Bilanz nutzbares Deponievolumen	[Mm ³]	0	0 / 0.42 / 0.87	0 / 0.42 / 0.87	0 / 0.42 / 0.87
Bilanz Sonderabfallvolumen	[Mm ³]	0	0	0	0 - 0.017
Flächenverbrauch	[ha]	36.4 - 70.3	1.5	1.5	1.5
Verkehrswert	[MDM]	0.69 - 1.13	4.58	4.69	13.64 - 13.70
Arbeitsplätze	[Anzahl]	0	2	2	8
Steuereinnahmen	[MDM/a]	0	0.01	0.01	0.09 - 0.11
Konzentration OW	[Grenzwert%]	100	0 - 30	0 - 30	0
Naturflächenbilanz	[kPunkte]	419 - 515	548	541	424 - 445

Tabelle 4. Überblick über die Quantifizierungsergebnisse. Zur Erläuterung der Kriterien und Attribute s. 5.3.2.2.

5.3.3.5. Probleme der Konzepterstellung und -quantifizierung

Im Zuge der Erstellung und Quantifizierung von Sanierungskonzepten traten zahlreiche Schwierigkeiten auf. Diese lassen sich einteilen in spezifische und prinzipielle Probleme. Die spezifischen Probleme resultieren aus dem mehr methodisch orientierten Anwendungsfall und der Anwendung der EA zu einem sehr frühen Zeitpunkt. Diese sollten bei anderen Anwendungsfällen nicht mehr auftreten. Die prinzipiellen Probleme müssen jedoch für eine erfolgreiche Anwendung der EA gelöst werden.

Das wesentlichste, spezifische Problem war die Notwendigkeit zu willkürlichen oder vereinfachenden Annahmen, weil

- notwendige Berechnungsmodelle nicht selbständig erstellt werden konnten (Schadstoffausbreitung).
- die Betrachtung aller Aspekte zu aufwendig gewesen wäre (Modellierung des Schadstoffaustrages während der Wiederanstiegsphase des Grundwassers, probabilistische Modellierung verschiedener Flutungsszenarien).
- entscheidende, existierende Verhältnisse nicht bekannt waren (aktueller Schadstoffaustrag, geologische Untergrundverhältnisse).
- elementarste Randbedingungen fehlten (schadstoff- und nutzungsspezifische Prüf- und Maßnahmenwerte).

Die wichtigsten, prinzipiellen Probleme, die auch bei anderen Anwendungen gelöst werden müssen, waren:

- a. Zukünftige Entwicklungen (z.B. die wirtschaftl. Entwicklung der Umgebung von Bergen, Natur- und Wildpark-Projekt !; Flutungskonzeption benachbarter Tagebaue mit Auswirkungen auf den Grundwasseranstieg bei Bergen) waren zwar angedacht, mußten jedoch realistischerweise als unbekannt eingeschätzt werden.

Dieses Problem dürfte in der Praxis sehr häufig vorkommen und zeigt die Verkopplung der zu treffenden Sanierungsentscheidung mit anderen, externen Entscheidungen. Denkbar ist die Klärung der Sachverhalte, indem die betreffenden Institutionen um definitive Aussagen gebeten werden. Die Quantifizierung kann erst dann erfolgen, sobald genauere Aussagen vorliegen. Weiterhin können mögliche Entwicklungen (bzw. Entscheidungen) probabilistisch behandelt werden, indem verschiedene plausible Szenarien in ihren Wechselwirkungen mit den Sanierungskonzepten untersucht werden. Diese Wechselwirkungen können sich in den Ergebnissen der Kriterien (Wirtschaftskriterien) widerspiegeln. Im ungünstigsten Fall können die externen Entscheidungen jedoch auch die Realisierbarkeit von Konzepten in Frage stellen. In diesem Fall müssen die sich daraus ergebenden, komplexen Handlungsstrukturen detailliert modelliert werden (s. 7.1.).

- b. Für manche Modelle waren subjektive Einschätzungen von Experten notwendig (z.B. Haltbarkeit von Dichtwänden). Diese zeigten jedoch ein grundsätzliches Mißtrauen gegen die Quantifizierung unsicherer Angaben, was bis zur Verweigerung der Zusammenarbeit ging.

Die Nutzung subjektiver Expertenaussagen läßt sich auch für reale Fälle kaum vermeiden. Dann stehen jedoch finanzielle Mittel zur Vergütung der Leistungen zur Verfügung. Trotz-

dem ist es notwendig, die Akzeptanz zur Quantifizierung unsicheren Wissens auf Entscheider- und Expertenseite zu erhöhen.

- c. Relevante Informationen wurden von den Anbieterfirmen nicht genannt (z.B. Aufschlüsselung der Kosten, die für eine probabilistische Behandlung notwendig ist)

Hier tritt das grundsätzliche Problem der Gewinnung verlässlicher Informationen für die Sanierungsentscheidung zutage. Selbst falls in realen Fällen die Firmen ein verstärktes Interesse an Zusammenarbeit im Hinblick auf eine mögliche Auftragserteilung haben bzw. eine Vergütung von Vorleistungen erfolgen kann, erhebt sich die Frage nach der Glaubwürdigkeit der angegebenen Daten ("Sind die Kosten worst-case-Abschätzungen oder optimistische Preise um den Auftrag zu erhalten?"). Schlimmstenfalls kann die Auskunftsbereitschaft von Firmen für reale Fälle weiter sinken, da Wettbewerbsnachteile befürchtet werden. Insgesamt wird dieser Themenkomplex in 6.4.3. detaillierter diskutiert.

- d. Die für adäquate Modelle benötigten Eingangsdaten ließen sich entweder überhaupt nicht (Anzahl der Störfälle, die zu Lecks in der Abdichtung führen) oder nur mit sehr großen Unsicherheiten (Kosten für die Wasserhaltung bei den Dichtungsvarianten) bestimmen. Ähnliche Probleme traten auf, wenn die Modelle enorme Unsicherheitsfaktoren (Faktor 100) lieferten, so daß sie keine entscheidungsrelevante Aussage mehr darstellten. Das bedeutet, bei der Quantifizierung stößt man an die Grenzen des wissenschaftlich prognostizierbaren (insbesondere bei der Prognose des Schadstoffaustrages und des Langzeitverhaltens von Dichtwänden).

Für den betrachteten Anwendungsfall ergaben sich diese Unsicherheitsspannen häufig wegen unzulänglicher Modelle (s.o.). In diesen Fällen wurden die Spannbreiten an kritischen Stellen willkürlich verringert. Das gleiche Problem wird jedoch auch bei fundierten Modellen auftreten.

Wichtig ist zuerst die Klarstellung, daß die Unsicherheiten keine Eigenschaft der Bewertungsmethodik (EA) sind, sondern daß diese von anderen Methoden nur schlicht ignoriert werden. Es ergibt sich somit in jedem Fall ein Informationszuwachs.

Problematisch ist, daß einige Personen, die mit enormen Unsicherheitsspannen konfrontiert werden, die Modelle, die Alternativen oder sogar den Gutachter (als inkompetent) ablehnen bzw. die Gutachter die Aussage verweigern. Hier muß den Personen deutlich gemacht werden, daß die präsentierten Unsicherheiten den aktuellen Wissensstand angemessen widerspiegeln und daß die Reduktion der Unsicherheiten häufig nur mit unverhältnismäßigem Aufwand realisierbar ist. Die Informationswertberechnungen der EA (vgl. 3.12. und Anhang A) könnten hier möglicherweise sinnvoll eingesetzt werden.

Zum Umgang mit der Problemstellung großer Unsicherheiten sind verschiedene Lösungsmöglichkeiten denkbar:

- i. Test auf Signifikanz der Spannbreiten
Manchmal ist das entsprechende Kriterium trotz der Spannbreiten irrelevant. Dieser Fall tritt z.B. ein, falls eine worst-case (bzw. best-case) Analyse ergibt, daß die entsprechende Alternative trotzdem optimal ist (bzw. von anderen Alternativen dominiert wird).
- ii. Prüfung, ob bessere/andere Modelle oder Vorversuche möglich sind
Bei der Änderung der verwendeten Modelle muß vermieden werden, daß die nicht erfaßbaren Größen einfach durch andere ebenfalls unbestimmbare Größen ersetzt wer-

den. Bevor genauere Modelle oder Vorversuche in Auftrag gegeben werden, bietet sich in jedem Fall eine Berechnung des Informationswertes an.

iii. Sorgfältige Befragungstechniken von Experten um das Maximum an Information herauszuholen

Es muß den Experten verdeutlicht werden, daß auch unsichere, subjektive Aussagen oder lediglich die Angabe von Größenordnungen besser sind, als die entsprechenden Modellpunkte zu ignorieren (z.B. Aussagen zu Ausfallwahrscheinlichkeiten von Dichtelementen). Daher ist verstärkt auch auf die Angabe persönlicher Ansichten zu drängen. In besonderen Fällen, z.B. falls mehrere Gutachter zu dem gleichen Themenkomplex befragt werden, ist eine Anonymisierung der Angaben denkbar.

iv. Veränderung der Konzepte

Ist es beispielsweise schwierig, die Wasserverschmutzung durch Leckagen in der Dichtwand abzuschätzen, kann eine Wasserhaltung vorgesehen werden. Hierdurch wird die Unsicherheit von einem Kriterium ('Verschmutzung des Oberflächenwassers') auf ein anderes, (geringfügig) leichter zu berechnendes ('Laufende Kosten') verlagert.

v. Übergang zu anderen Kriterien bzw. Attributen

Manchmal erweist es sich als hilfreich, zu einer relativen Einschätzung der Verfahren überzugehen und diese dann anhand einer Alternative zu eichen (z.B. Expertenaussage: Lebensdauer(Dichtwand) $\approx 1.5 \cdot$ Lebensdauer(Injektionswand)). Ebenso können Sachverhalte, die eigentlich in einem bestimmten Kriterium zu berücksichtigen sind (z.B. Reparaturen in 'Laufende Kosten') herausgelöst werden und in einem separaten Kriterium mit eigenem Attribut (z.B. Bewertungsskala auf der Basis einer ausführlichen, verbalen Beschreibung) erfaßt werden. Wichtig ist in jedem Fall, daß schon während der Phase der Kriterienerstellung die Quantifizierbarkeit überprüft wird (s. 6.4.2.).

vi. Vernachlässigung kleiner Wahrscheinlichkeiten oder Ausschluß von Alternativen

Große Spannbreiten der Ergebniswahrscheinlichkeitsverteilungen resultieren häufig aus extremen Ergebnissen mit sehr kleinen Wahrscheinlichkeiten⁵⁹ (s. Abb. 23.: $p(K > 12 \text{ MDM}) < 0.03$). Falls diese Ergebnisse außerhalb des für den Entscheider akzeptablen Bereiches liegen, kann entweder das Risiko durch Betrachtung eines Fraktilbereiches (z.B. 5-95 %) ignoriert werden, die Alternative muß derart verändert werden (vgl. iv.), daß die Extremwerte nicht mehr auftreten oder aber die Alternative muß ausgeschlossen werden.

Für den gewählten Anwendungsfall konnten die oben aufgezählten Schwierigkeiten durch Annahmen und Vereinfachungen bewältigt werden, da es nicht vordergründig darum ging, wissenschaftlich fundierte Aussagen zu dem Sanierungsfall Bergen zu treffen. Hauptuntersuchungspunkt war vielmehr die prinzipielle Ermittelbarkeit der für eine Entscheidung auf EA-Basis während der Quantifizierungsphase notwendigen Informationen. Deshalb sind auch nicht die entstandenen Quantifizierungsmodelle als Hauptergebnis zu betrachten, sondern die für eine Anwendung auf reale Fälle gezogenen Schlußfolgerungen.

Insgesamt kann ausgesagt werden, daß die Quantifizierung der Sanierungskonzepte unter Verwendung von probabilistischen Funktionsnetzwerken zwar relativ aufwendig ist und vielerlei Randbedingungen beachtet werden müssen, daß jedoch in der Praxis keine unüberwindbaren Hindernisse zu befürchten sind. Gerade die für viele Personen ungewohnte

⁵⁹ Diese Problematik tritt insbesondere bei der Diskussion um Störfälle in Kernkraftwerken auf. Die dort diskutierten high-consequence - low-probability Ereignisse sind mit dem Risikobegriff "Wahrscheinlichkeit mal Schadensausmaß" nicht mehr adäquat zu erfassen.

Einbeziehung und quantitative Modellierung von unsicheren und subjektiven Informationen trägt wesentlich dazu bei, die Quantifizierung als wichtige Entscheidungsgrundlage konsistenter und vollständiger zu gestalten. Die vielen, interessanten Ergebnisse die durch diese Quantifizierungsart abgeleitet werden können (s. 5.3.5.1.), rechtfertigen den Aufwand.

5.3.4. Gesamtnutzenfunktionen

Wie schon die Kriterienliste wurde auch die Gesamtnutzenfunktion in zwei Schritten erstellt. Zuerst wurden personenspezifische Abwägungen und Nutzenfunktionen ermittelt. Für die Vertreter gleicher Interessengruppen (versch. Behördenvertreter) wurden diese anschließend zu einem Kompromißvorschlag zusammengefaßt. Dieser Kompromißvorschlag wurde zusammen mit seinen Konsequenzen präsentiert und diskutiert.

Die Arbeiten zur Gesamtnutzenfunktion wurden nach der Quantifizierung durchgeführt. Die Begründung dafür war, daß nach der Quantifizierung die Spannbreiten der Ergebnisse bekannt sind und somit gezielt die Gesamtnutzenfunktion für die relevanten Bereiche erstellt werden konnte. Um zu verhindern, daß die befragten Personen ihre Angaben nach dem von ihnen präferierten Sanierungskonzept ausrichteten, wurden lediglich die Ergebnisspannbreiten offengelegt.

Mit der Erstellung personenspezifischer Gesamtnutzenfunktionen sollten zwei Fragestellungen beantwortet werden:

- Inwieweit sind explizite, persönliche Abwägungen praktikabel ?
- Werden Risikoentscheidungen, die durch p-Verteilungen beschrieben sind, akzeptiert ?

Es wurde die Möglichkeit eingeräumt, die notwendigen, quantitativen Aussagen zu einzelnen Kriterien zu delegieren. Dies hatte gravierende Konsequenzen zur Folge. Fast alle befragten Personen aus staatlichen Institutionen fühlten sich nicht zuständig und verwiesen im günstigen Fall an andere Referate oder im ungünstigen Fall an andere Institutionen. Da diese in der Regel noch nicht an Bergen beteiligt waren, erweiterte sich der zu befragende Personenkreis beträchtlich. Damit wurden die Probleme der Kriterienerstellung erneut akut, aber diesmal unter verschärften Randbedingungen, weil die Kriterienliste zu diesem Zeitpunkt (nach der Quantifizierung) nicht mehr diskutabel war. Kritische Anmerkungen zu dieser Vorgehensweise finden sich in 6.4.2.

Die Erstellung personenspezifischer Gesamtnutzenfunktionen nach den Lehrbüchern der EA besteht aus drei Schritten⁶⁰:

- i. Festlegung der Form der Nutzenfunktion durch Überprüfung von Unabhängigkeitsbedingungen (s. 3.9.)
- ii. Ermittlung von Nutzenfunktionen über einzelne Kriterien (s. 3.8.)
- iii. Bestimmung von Gewichtungskonstanten für die Kriterien (s. 3.10. und 4.3.4.)

Problematisch an dieser Reihenfolge ist, daß bereits für den Schritt i. sehr weitgehende Kenntnisse bei dem Befragten vorhanden sein müssen. Die zu beantwortenden Fragestellungen setzen voraus, daß die Person mit den Bewertungsansätzen der EA (Lotterien und Trade-off-Entscheidungen) vertraut ist und diese auch akzeptiert. Weiterhin muß angenommen

⁶⁰ Ein ausführliches Beispiel findet sich in: /Keeney-75/. Dort waren jedoch ideale Voraussetzungen gegeben, so daß dieses Beispiel kaum Aussagen für die Praxis zuläßt.

werden, daß die Person sich soweit in die Problematik eingearbeitet hat, daß sie komplexe Entscheidungsprobleme, wie sie z.B. in 3.9., Abb. 11. dargestellt sind, überschaut. Diese Voraussetzungen sind in der Regel bei den an öffentlichen Entscheidungen beteiligten Personen nicht erfüllt.

Ein Hauptziel der vorliegenden Arbeit ist es zu prüfen, ob die Ansätze der EA sich für öffentliche Entscheidungen realisieren lassen. Der Kernpunkt der EA ist sicherlich die Behandlung multiattributiver Probleme durch Abwägung der Kriterien und daraus folgend die Zusammenfassung zu einem Gesamtnutzen. Deshalb zielten die ersten Fragen darauf ab, den Entscheider mit einfachen, multiattributiven Entscheidungsproblemen zu konfrontieren. Je nach Verlauf des Gespräches wurde dann abgeschätzt, ob die weitergehenden Fragen zu dem Verhalten der Person bei risikobehafteten Entscheidungen sinnvoll waren oder nicht. In vielen Fällen waren diesbezügliche Fragen wegen der expliziten Festlegung linearer Präferenzen seitens der befragten Personen oder infolge von vernachlässigbaren Ergebnisspannbreiten der diskutierten Kriterien nicht notwendig. Gegenüber der üblichen Verfahrensweise bei der Erstellung von Gesamtnutzenfunktionen wurde somit die Bearbeitungsreihenfolge Abwägungsparameter - Nutzenfunktionen umgedreht. Dies hatte zur Folge, daß die Aussagen zu den Nutzenfunktionen und die lokalen Trade-off-Raten iterativ abgeglichen werden mußten (s. a. 8.1.).

Motiviert durch die oben erwähnte Tatsache, daß die Fragen zu den Unabhängigkeitsbedingungen und damit zu der Form der Gesamtnutzenfunktion zu schwer sind, um von Personen ohne fundierte EA-Kenntnisse sinnvoll beantwortet werden zu können, wurde als Arbeitshypothese angenommen, daß sich die Gesamtnutzenfunktion in einer additiven Form (s. 3.9.) darstellen läßt:

$$u_{ges}(x_1, \dots, x_N) = \sum_{i=1, N} k_i u_i(x_i)$$

Wie in externen Untersuchungen /Farmer-87/ bestätigt wurde, ist diese Form flexibel genug, um die Mehrzahl der vorkommenden Entscheidungsmuster darzustellen bzw. gut zu approximieren. Diese Beobachtung konnte in eigenen Untersuchungen (s. 6.4.4.) bestätigt werden. Deshalb eignet sich die additive Form besonders, um einen Kompromißvorschlag auf der Basis personenspezifischer Gesamtnutzenfunktionen zu erarbeiten. Als weiterer Vorteil der additiven Form gegenüber der multiplikativen und multilinearen ist zu nennen, daß nur bei der additiven Form den Abwägungsparametern, bei geeigneter Normierung der Nutzenfunktionen, ein anschaulicher Sinn zugeordnet werden kann. Gerade diese Tatsache erschien sehr wichtig, um die Akzeptanz der Personen für die Gesamtnutzenfunktion zu erhöhen.

5.3.4.1. Festlegung von Abwägungsparametern

Die Festlegung der Abwägungsparameter k_i erfolgte separat für jedes Kriterium, für das der Entscheider sich als kompetent ansah⁶¹. Zuerst wurde nachgefragt, zu welchem anderen Kriterium ein Vergleich am einfachsten erschien. Darauf aufbauend wurden dann einfache

⁶¹ Ein Abwägungsparameter kann willkürlich gewählt werden, weil die Gesamtnutzenfunktion nur bis auf eine lineare Transformation eindeutig definiert ist (s. 3.2.-IV.). Hier wurde der Abwägungsparameter der Fixkosten' auf 1 gesetzt. Dadurch legen die anderen Abwägungsparameter eine lokale Monetarisierung der anderen Kriterien fest. Diese Definition ist einerseits anschaulich, andererseits wird durch sie der unbegründete Verdacht einer simplen Monetarisierung aller Kriterien nahegelegt.

Entscheidungssituationen konstruiert. In Tabelle 5. ist ein solches Entscheidungsproblem dargestellt. Verglichen wurden hier die 'Laufenden Kosten' mit den 'Steuereinnahmen'. Dieser Vergleich bot sich insbesondere deshalb an, weil beide Kriterien in der gleichen Einheit (MDM/a) gemessen werden. Interessanterweise verglichen viele, befragte Personen alle Kriterien mit den 'Fixkosten'. Dies bedeutet, daß die Vertrautheit mit dem Vergleichskriterium ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Auswahl der zu vergleichenden Kriterienpaare ist.

	Laufende Kosten LK	Steuereinnahmen SE	Andere Kriterien
Konzept A	1 MDM/a	1 MDM/a	gleich gute Ergebnisse
Konzept B	2 MDM/a	2 MDM/a	

Tabelle 5. Beispielhaftes Entscheidungsproblem zur Bestimmung von Abwägungskonstanten

Der Entscheider mußte sich für eins von zwei hypothetischen Konzepten entscheiden, die sich in ihren Ergebnissen lediglich auf den zu vergleichenden Kriterien unterschieden. Daraufhin wurde eine Größe solange variiert, bis Indifferenz zwischen den Konzepten auftrat (z.B. falls $A > B$, dann Verringerung der 'Laufenden Kosten' von Konzept B auf 1.5 MDM/a). Aus der Indifferenzbedingung

$$k_{LK} u_{LK}(1 \text{ MDM/a}) + k_{SE} u_{SE}(1 \text{ MDM/a}) = k_{LK} u_{LK}(1.5 \text{ MDM/a}) + k_{SE} u_{SE}(2 \text{ MDM/a})$$

konnte nach der Definition der Nutzenfunktionen über die Einzelkriterien (s. n. Abschnitt) mit dem Trade-off-Editor (s. 4.3.4.) der fehlende der beiden Abwägungsparameter (k_{LK} oder k_{SE} - der andere kann frei gewählt werden) bestimmt werden. Dieses Ergebnis kann durch den Vergleich mit Aussagen aus anderen Bereichen (z.B. für höhere 'Laufende Kosten') verifiziert werden.

Bei der Ermittlung der Abwägungskonstanten mit diesem Verfahren ergaben sich mit Abstand die meisten Probleme. Nur die wichtigsten sollen diskutiert werden. Nicht aufgeführt sind alle Probleme, die aus prinzipiellen Bedenken der Personen gegen Bewertungssysteme resultierten, da diese nicht EA-spezifisch sind.

- Sehr häufig wurde aus Schwierigkeiten bei den Abwägungen deutlich, daß die Attribute nicht ausreichend quantitativ formuliert worden waren (z.B. wurde das Attribut des Kriteriums 'Dauerhaftigkeit', gemessen in MDM/a als zu vereinfachend kritisiert) Dieses Problem kann vermieden werden, wenn schon bei der Erstellung der Kriterien probeweise Entscheidungsproblemen wie das in Tabelle 5. dargestellte präsentiert werden (s. a. 6.4.4.). Diese Vorgehensweise erschwert außerdem die in einigen Fällen beobachtete, nachträgliche Definition von Randbedingungen durch Einschränkung der zulässigen Ergebnisbereiche (insbesondere bezüglich der 'Fixkosten').
- Die präsentierten Daten wurden teilweise nicht akzeptiert, d.h. es wurde angenommen, daß die Ergebnisse lediglich Prognosen darstellen und noch mit Unsicherheiten behaftet sind. Zum einen zeigt sich hier das Problem, daß es vielen Personen schwerfällt die präsentierten, hypothetischen, idealisierten Entscheidungsprobleme zu interpretieren. Es wurde von den Personen angenommen, daß die dargestellten Informationen z.B. aus Gutachten stammen und deshalb vor einer Entscheidung noch kritisch zu hinterfragen sind⁶². An dieser Stelle wurde erläutert, daß eine Inspektion und ggf. Korrektur der Quantifizierung vor der Evaluierung vorzunehmen ist und daß die präsentierten Daten somit als verlässlich zu be-

⁶² Speziell wenn Daten aus nicht-neutralen Datenquellen (Anbietern) stammen und deshalb systematische Fehler enthalten, müssen die Entscheider Gelegenheit erhalten, diese z.B. durch Verwendung subjektiver Korrekturfaktoren zu korrigieren (s. 5.3.5.1.).

trachten sind. Zum anderen wurde deutlich, daß viele Personen durch die zeitgleiche Einführung der Probleme 'Multiattributivität' und 'Risiko' überfordert sind (s. 6.2.2.).

- Einige Personen erklärten, daß sie sich erst gründlicher mit dem Problem beschäftigen müssen, ehe sie fundierte Aussagen dazu treffen können (z.B. der monetäre Wert von Deponievolumen für den Deponiebetreiber)

Die Forderung der Personen kann eigentlich als Erfolg der Fragestellung gewertet werden, da diese zum verstärkten Nachdenken über das Problem angeregt hat (Aussage: "Erst erschien mir die Sache ganz einfach. Nach ihrer letzten Frage wurde mir jedoch klar, daß die Antwort darauf, von vielen Dingen abhängt. Deshalb ziehe ich meine Antwort auf die vorherige Frage zurück und erbitte mir Bedenkzeit.")⁶³.

Aus dieser Beobachtung folgt, daß man den befragten Personen ausreichend Zeit zur Verfügung stellen muß, damit diese eine Vorstellung von der Entscheidungsproblematik, den Zusammenhängen mit anderen Sachverhalten und ihren eigenen Präferenzen entwickeln können (s. 6.4.4.).

- Viele befragte Personen bemängelten, daß die präsentierten, abstrakten Handlungsalternativen nicht existierten und daher ihr Vergleich als nicht sinnvoll betrachtet wurde. Dies ist ein prinzipielles Problem der EA. Ihr Ansatz ist, die komplexen Probleme in kleinere, überschaubare, aber leider deshalb hypothetische Probleme zu zerlegen. Für Personen, die nicht auf der Basis dieser hypothetischen Probleme entscheiden können oder wollen, ist die EA nicht geeignet.

- Häufig wurde die eigene Zuständigkeit / Kompetenz verneint.

Vielfach stößt man auf das Problem, daß einerseits die Fachexperten über keine Kenntnisse hinsichtlich des Entscheidungsfalls haben (und teilweise auch nicht beteiligt werden wollen) und deshalb Aussagen ablehnen und andererseits die direkt Beteiligten keine Fachleute sind und deshalb keine fundierten Aussagen treffen können. Grundsätzlich läßt sich dieses Problem nur durch organisatorische Maßnahmen lösen.

- In einigen Fällen wurde beobachtet, daß die befragten Personen die Problemstellung reduzierten.

So betrachteten die Personen nicht die Ergebnisse auf beiden Kriterien gleichzeitig, sondern sie konstruierten willkürliche Randbedingungen auf einzelnen Kriterien ("Nachdem schon soviel für die Sanierung gezahlt wurde, kann ich 2 MDM/a als Nachsorgekosten nicht akzeptieren.") oder sie bestritten die Entscheidungsrelevanz einzelner Kriterien ("Laufende Kosten fallen sowieso an, also entscheide ich mich für die Variante, die günstiger für die Gemeinde ist."). Diese Verhaltensweisen hätten durch eine frühzeitige, probeweise Abwägung bei der Kriterienerstellung (s. 6.4.2. und 6.4.4.) korrigiert werden können.

- In einem Fall wurde eine Entscheidung und die daraus folgende Bestimmung von Abwägungskonstanten wegen moralischer Bedenken abgelehnt (Vergleich: Fixkosten - Flächennutzungstypen).

Grundsätzlich sollte vorab eine Abstimmung über die Legitimität von Kriterien und Randbedingungen erfolgen. Die gewählten Kriterien und Randbedingungen müssen konform zu gültigen Gesetzen und politischen Grundsatzentscheidungen sein. Konfliktpunkte traten diesbezüglich im betrachteten Anwendungsfall in den Bereichen 'Abwägungen: Natur-Kosten', 'Arbeitsschutz' und 'Legitimität der Einbeziehung wirtschaftlicher Aspekte' auf.

⁶³ Als Ergebnis der Überlegungen ergab sich, daß der monetäre Wert von Deponievolumen u.a. von dem Finanzierungsmodell, von der Genehmigung beantragter, benachbarter Entsorgungseinrichtungen, von der Entwicklung im Umfeld von Bergen ('Natur- und Wildpark' !) und von der weiteren, organisatorischen Entwicklung des Abfallzweckverbandes abhängt

- Durch die Entscheidung für ein Konzept und die daraus abgeleitete Abwägungskonstante wird teilweise eine politisch brisante Festlegung getroffen (z.B. der monetäre Wert von Arbeitsplätzen)

D.h. es werden Normen geschaffen, die dann für andere Fälle bedenkenlos angewendet werden könnten oder die sogar zu einem Rechtsanspruch (Förderanspruch !) führen können. Deshalb wurden die persönlichen Ansichten, die durchaus existieren, von einigen Personen nicht oder nur mit dem Hinweis auf die rechtliche Bedeutungslosigkeit der Aussagen preisgegeben. Trotzdem betonten die befragten Personen die Notwendigkeit von Abwägungen. Diese rechtlichen Bedenken der befragten Personen konnten nur teilweise überwunden werden. Die wichtigsten Maßnahmen, um die Personen zu überzeugen, Aussagen zu treffen, waren:

- **Zusicherung von Diskretion**

Das ist jedoch nur dann möglich, falls mehrere Personen zu dem gleichen Themenkomplex befragt werden, so daß eine Anonymisierung der Angaben durchführbar ist. Die Anonymisierung kann indes lediglich temporärerer Natur, zur Konsensbildung sein. Eine Entscheidung auf der Basis anonymer Festlegungen dürfte rechtlich kaum durchsetzbar sein.

- **Erläuterung der Notwendigkeit persönlicher Ansichten für Konsensdiskussion**

Erst die Ermittlung mehrerer, persönlicher Ansichten ergibt eine ausreichende Datenbasis für einen Konsensvorschlag. Nur wenn die eigenen Ansichten geäußert werden, sind sie auch bei der Konsensfindung diskutierbar.

- **Normbildung durch Mehrfachanwendung**

Durch die wiederholte Anwendung von expliziten Abwägungen können sich Normen herausbilden, die dann spätere Entscheidungen vereinfachen. Dieses Argument, das explizit von einem Befragten genannt wurde, ist jedoch sehr vorsichtig zu handhaben, da dadurch einige Personen eher abgeschreckt werden.

- **Klarstellung des Anwendungsbereiches**

Häufig ist die Betonung der Vorläufigkeit der Festlegung (Revisionen sind jederzeit möglich), der Einzelfallbezogenheit und daß keine Übertragung auf andere Fälle ohne erneute Konsultation stattfinden wird, förderlich.

- **Einbeziehung übergeordneter Stellen**

Dies ist eine recht problematische Zusage, weil übergeordnete Stellen zwar über mehr Normierungskraft, jedoch häufig nicht mehr über die Sachkenntnis verfügen, um quantitative Aussagen treffen zu können.

- **Androhung des Ausschlusses**

Falls der befragten Person das betroffene Kriterium sehr wichtig ist, kann als letztes Mittel Druck angewandt werden: Falls keinerlei Ansichten zu der Einordnung des Kriteriums in Bezug auf andere ermittelt werden können, so wird es fortgelassen.

Eine Person lehnte es wegen der oben angeführten Bedenken prinzipiell ab, eine Formalisierung (Bildung eines Gesamtindikators durch Bestimmung von Abwägungsparametern) durchzuführen. Trotzdem wurden Aussagen zu Entscheidungsproblemen analog dem in Tabelle 5. abgebildeten nicht verweigert. Das ermöglichte die indirekte Konstruktion einer Nutzenfunktion (s. 6.4.4.) - eine Vorgehensweise, die eine verbesserte Akzeptanz verspricht.

- Entscheidungssituationen oben dargestellten Typs vereinfachen die zu lösenden Probleme maximal ("Sollen vom Staat/Sanierungsverantwortlichen 1 MDM/a investiert werden, um der Gemeinde Steuereinnahmen von 1 MDM/a zu ermöglichen ?", "Wieviel MDM sollte dem Staat die Schaffung eines Arbeitsplatzes wert sein?"). Dadurch wurde den befragten Personen häufig bewußt, daß auch subjektive Ansichten für die Entscheidung notwendig sind, was zu Irritationen führte.

Im günstigsten Fall suchten die befragten Personen selbständig nach Anhaltspunkten (z.B. Bezugnahme auf andere Bereiche: Wirtschaftsförderung; Entwicklung von Denkmodellen: "Was spart der Staat pro Arbeitslosen weniger?") und äußerten daraufhin eigene Ansichten. Im ungünstigsten Fall erwarteten sie, daß ihnen Anhaltspunkte zur Verfügung gestellt bzw. auch noch diese letzte Entscheidung abgenommen wird. In diesen Fällen mußte klar gestellt werden, daß dieses nicht mehr im Aufgabenbereich der entscheidungsunterstützenden Methodik liegt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß es für die Ermittlung der Abwägungskonstanten unabdingbar ist

- alle fachlich zuständigen Personen schon bei der Definition der Kriterien einzubeziehen,
- Probeabwägungen vorzunehmen,
- den rechtlichen Rahmen für die Kriterien und der Aussagen zu den Abwägungsparametern zu klären,
- zweifelsfrei die Kompetenz und Verantwortlichkeit für die zu treffenden Entscheidungen festzulegen und
- den Personen ausreichend Zeit zur Einarbeitung in das Problem und zur Suche nach Anhaltspunkten zur Verfügung zu stellen.

Die Behandlung multiattributiver Probleme durch Abwägungen der Kriterien gegeneinander ist zwar sehr problematisch und muß sorgfältig vorbereitet werden, diese ist jedoch im Prinzip durchführbar und wird von den Personen als nützlich empfunden. Wie in 5.3.5. gezeigt werden wird, akzeptierten die Personen die auf der Basis der Abwägungen abgeleiteten Ergebnisse.

5.3.4.2. Bestimmung von Nutzenfunktionen

Die Konfrontation der Personen mit dem Problembereich 'Risikoentscheidung' (s. 3.8.) wurde zuerst exemplarisch anhand eines gut vorstellbaren Kriteriums (i.d.R. die Fixkosten) durchgeführt. Es wurde motivierend erläutert, in welchen Situationen Entscheidungen unter Risiko auftreten und daß diese bei Vorhandensein von Unsicherheiten grundsätzlich nicht vermeidbar sind.

Um das Risikoverhalten quantitativ zu erfassen, wurden den befragten Personen einfache Lotterien zur Entscheidung präsentiert (s. Abb. 33.). Die Ergebnisspannbreiten (d.h. die durch die Wahrscheinlichkeitsverteilungen abgedeckten Intervalle) der unsicheren Konzepte (in Abb. 33. Konzept B) wurden so gewählt, daß sie in etwa den Ergebnisspannbreiten der Quantifizierung entsprachen.

Wie üblich wurde dann eine Entscheidung für eines der beiden Konzepte verlangt und das sichere Ergebnis solange variiert, bis Indifferenz eintrat (z.B. [42 MDM] \approx [0.5: 20 MDM; 0.5: 60 MDM]). Daraus konnte eine Bedingung für die Nutzenfunktion abgeleitet werden: $u(42 \text{ MDM}) = 0.5 \cdot u(20 \text{ MDM}) + 0.5 \cdot u(60 \text{ MDM})$. Die Prozedur wurde mit anderen Ergebnisspannbreiten (z.B. [60 MDM] oder [0.5: 40 MDM; 0.5: 80 MDM]) wiederholt, um iterativ den ganzen, entscheidungsrelevanten Kostenbereich abzudecken. Aus den sich ergebenden Bedingungen und einer Normierungsvorschrift für die Nutzenfunktion ($u(0 \text{ MDM}) = 0$, $u'(0 \text{ MDM}) = 1$) konnte die Nutzenfunktion berechnet werden. Es zeigte sich, daß sich (fast) alle Nutzenfunktionen gut durch den Ansatz $u(x) = \frac{e^{\alpha x} - 1}{\alpha}$ approximieren ließen. Die Verwendbarkeit einer einheitlichen Formel für die personenspezifischen eindimensionalen Nutzenfunktionen war von großem Vorteil für den Vergleich der verschiedenen Risikoverhaltensweisen.

Bei der Bestimmung des Risikoverhaltens traten verschiedene Probleme auf::

- Im Gegensatz zu der in der EA-Literatur üblichen Vorgehensweise, die gesamte Ergebnisspannbreite mit der ersten Problemstellung zu überdecken /Keeney-93/ (z.B. [50 MDM] oder [0.5: 0 MDM; 0.5: 100 MDM]), wurde hier die Nutzenfunktion schrittweise für mehrere, kleinere Ergebnisintervalle bestimmt und dann zusammengesetzt. Dieses Verfahren hat zum einen den Vorteil, daß die Personen erkennen, daß die präsentierten Ergebnisspannbreiten durchaus einen realen Bezug zur Quantifizierung haben. Zum anderen wurde in vorab durchgeführten Testinterviews festgestellt, daß Personen, die anfangs mit großen Spannbreiten konfrontiert werden, die gesamte Prozedur ablehnen ("Ich spiele kein Russisch-Roulette !"). In diesen Fällen wurden auch alle weiteren Problemstellungen mit kleineren Ergebnisspannbreiten abgelehnt. Die gewählte Vorgehensweise erleichtert zwar die Abwägungen für die Personen, erschwert jedoch die Bildung einer Nutzenfunktion, die ohne computertechnische Hilfsmittel nur noch in Ausnahmefällen (konstante Risikoaversion) erstellbar ist. Dies bedeutet, für die weitere Anwendung der EA müssen entsprechende Hilfsmittel, z.B. die in 8.1. vorgeschlagenen, zur Verfügung stehen.
- Die befragten Personen zeigten anfangs z.T. extreme Verhaltensweisen (z.B. [59.9 MDM] \approx [0.5: 20 MDM; 0.5: 60 MDM]). In allen Fällen war die Ursache eine Fehlinterpretation der Entscheidungsproblematik, die auf mangelndem Problemverständnis basierte:
 - Die Personen interpretierten die zu treffende Entscheidung als generelle Festlegung ihres Risikoverhaltens. Es wurde nicht mehr die konkrete Problemsituation betrachtet, sondern es wurden allgemeine Aussagen getroffen ("Ich würde mich risikofreudig verhalten."). Dies ist vermutlich durch eine Fehlinterpretation der verwendeten Begriffe zu

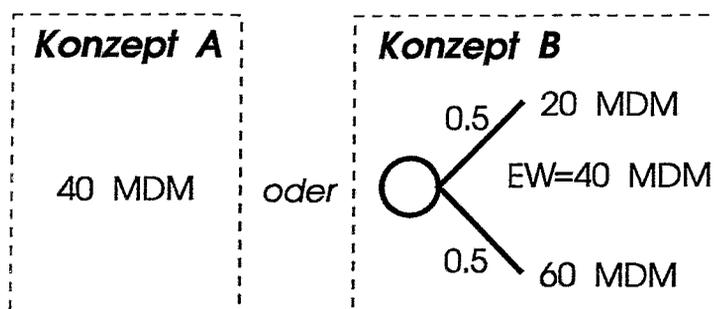


Abbildung 33. Beispiel für eine einfache Entscheidung unter Risiko zur Erfassung des Risikoverhaltens

erklären. 'Risikofreudig' wird mit positiven Assoziationen auf einen möglichen Gewinn verbunden. Des weiteren bedeutet 'risikofreudig' für einige Personen, daß ohne Kenntnis möglicher Ergebnisspannen entschieden wird ('Augen zu und durch'). Um die Erstellung einer Nutzenfunktion zu ermöglichen, konnten die primären Aussagen nicht verwendet werden. Zur Erweiterung des Verständnisses der gezeigten Risikoentscheidung erwies es sich als sinnvoll, die Begriffe 'Wahrscheinlichkeit', 'Erwartungswert' und 'Risikoneutralität/-scheu/-freudigkeit' zu erläutern. In allen Fällen erfolgte daraufhin eine Korrektur der ersten Aussage.

- In einigen Fällen wurde die Entscheidungsproblematik falsch extrapoliert. Für die Variante mit unsicheren Kosten nahmen die Personen fälschlicherweise an, daß diese auch auf den anderen Kriterien unsicher ist. Hier erfolgte eine Klarstellung.
 - Eine weitere Fehlinterpretation beruhte auf der Annahme, daß die angegebenen Wahrscheinlichkeiten nicht zuverlässig sind (z.B. optimistische Prognosen von Anbietern, vgl. analoges Problem bei der Bestimmung der Abwägungsparameter). Daraufhin wurde ein extrem risikoaverses Verhalten eingenommen. Die Lösung dieses Problems konnte mit Maßnahmen analog denen bei der Bestimmung der Abwägungsparameter erreicht werden.
- Sehr häufig wurden Bedenken gegen die Problemstellung geäußert, die auf eine generelle Eliminierung von Unsicherheiten hinausliefen ("Bei einer solchen Ergebnisspanne würde ich nicht direkt entscheiden, sondern die Unsicherheiten durch Gutachten eliminieren."). In diesen Fällen wurde den Personen die prinzipielle Unvermeidbarkeit von Unsicherheiten plausibilisiert bzw. auf den (möglicherweise) unverhältnismäßigen Aufwand zur Reduktion der Unsicherheiten hingewiesen (s. Bestimmung des Wertes von Informationen 3.12. und Anhang A).

Nicht alle befragten Personen wurden mit der oben skizzierten Risikoproblematik konfrontiert. Insbesondere wenn schon bei den Abwägungen große Schwierigkeiten aufgetreten waren oder deutlich erkennbar wurde, daß die Personen an methodischen Überlegungen kein Interesse haben, wurde auf die Fragen verzichtet. Es erschien nicht sinnvoll, das Risikoverhalten für alle Kriterien abzufragen. Kriterienbereiche, die offensichtlich nur geringen Einfluß auf die Entscheidungen hatten (z.B. 'Wirtschaftliche Effekte') wurden zur Abkürzung des Gespräches weggelassen. Ebenso konnte für Kriterien, über die eine Bilanzierung durchgeführt wurde (z.B. 'Flächennutzungstypen', die Gesamtbewertung auf diesem Kriterium ergab sich durch die Summe der Einzelpunktzahlen verschiedener Flächen), keine Nutzenfunktion definiert werden. Eine überproportionale Gewichtung von Ergebnissen, wie sie die Risikobehandlung im Rahmen der EA darstellt, ist nur sinnvoll, wenn Maßstäbe zum Vergleich vorhanden sind (z.B. für die 'Fixkosten' der vorhandene Etat). Mit der Bilanzierung ist der Vergleich zu den vorstellbaren Maßstäben nicht mehr durchführbar. Das ist jedoch ein Problem der Kriterienerstellung (s. 6.4.2.).

In einem Fall wurde versucht, die Bedingung der Nutzenunabhängigkeit über die Fixkosten zu testen. Die Antwort zeigte, daß diese Bedingung nicht erfüllt war ("Wenn auf den anderen Kriterien gute Ergebnisse vorliegen, dann kann ich hier risikofreudiger agieren."). Das bedeutet, daß strenggenommen über die Fixkosten keine Nutzenfunktion definierbar ist. Es erschien jedoch als eine empirische Tatsache, daß befragte Personen ein komplexes Entscheidungsverhalten zeigen möchten, in praxi jedoch schon an den allereinfachsten Konsistenztests (zyklischen Präferenzen) scheitern. Deshalb wurde obiger Aussage kein großes Gewicht beigemessen.

Im Endergebnis zeigten alle Personen ein risikoneutrales bzw. leicht risikoaverses Verhalten. Risikofreude konnte nur bei einer Testperson beobachtet werden. Im Gegensatz zur Bestimmung der Abwägungskonstanten weigerte sich keine der befragten Personen prinzipiell, eine Entscheidung zu treffen. Allerdings wurde mehrfach geäußert, daß die präsentierten Unsicherheitsspannen eigentlich zu groß seien, als daß man eine Entscheidung treffen könne. Hier wurde auf die prinzipiellen Unsicherheiten und auf die Bewertbarkeit von Gutachten im Rahmen der EA hingewiesen, was grundsätzlich akzeptiert wurde. Mehr noch als bei den Abwägungen besteht bei der Bestimmung von Nutzenfunktionen die Gefahr, daß die Personen die Notwendigkeit der Fragen nicht begreifen bzw. diese als unverbindliche Spiele betrachten.

Bei der Kombination der Aussagen zu den Abwägungsparametern und den Nutzenfunktionen fiel auf, daß hier a-priori nicht einkalkulierte Nebeneffekte auftraten. So führte selbst ein moderates Risikoverhalten zu je nach Bezugspunkt stark unterschiedlichen Trade-off-Raten (ausführliches Beispiel s. 8.1.). Dieser Nebeneffekt mußte bei den Abschlußpräsentationen (s. 5.3.5.2.) bestätigt werden. Verallgemeinert ergab sich daraus das Ergebnis, daß infolge der Kopplung zwischen Nutzenfunktionen und Trade-off-Raten die Erstellung von Nutzenfunktionen und die Festlegung von Abwägungsparametern nicht unabhängig voneinander stattfinden kann. Um die Wechselwirkungen sofort zu visualisieren und ggf. zu korrigieren, sind jedoch computertechnische Hilfsmittel notwendig (s. 8.1.).

5.3.4.3. Zusammenfassung zu einem Konsensvorschlag

Voraussetzung für die Erarbeitung eines Konsensvorschlages für eine gemeinsame Gesamtnutzenfunktion mehrerer Personen ist die weitgehende Übereinstimmung zwischen den Beteiligten hinsichtlich der relevanten Kriterien. Dies kann lediglich bei den Vertretern der Behörden vorausgesetzt werden. Die Einbeziehung des Deponiebetreibers/Sanierungsverantwortlichen erwies sich als nicht mehr durchführbar, weil grundsätzliche Interessenkonflikte vorliegen (s. 5.3.1.). Somit ergaben sich zwei wesentliche Gesamtnutzenfunktionen: die der Behörden und die des Sanierungsverantwortlichen.

Die wesentliche Schnittstelle zwischen den beiden Gesamtnutzenfunktionen ist die Aufteilung der Fixkosten und damit das Finanzierungsmodell. Dafür wurde versucht, einen Konsens zwischen den Behörden und dem Sanierungsverantwortlichen zu finden. Dieser ist in Abbildung 34. skizziert. Von den anfallenden Sanierungskosten werden zuerst die Erlöse, die aus der Sanierung resultieren subtrahiert. Im Falle von Bergen sind hierbei ausschließlich die Nutzungsgewinne bei Weiterbetrieb der Deponie zu berücksichtigen. Die verbleibenden, zu finanzierenden Fixkosten werden mittels eines für alle Sanierungskonzepte gleichen Förderprozentsatzes zwischen dem Land und dem Sanierungsverantwortlichen (Abfallverband) aufgeteilt (der in Abb. 34. dargestellte Prozentsatz dient nur als Beispiel). Dieser ist zwischen Land und Sanierungsverantwortlichem unter Berücksichti-

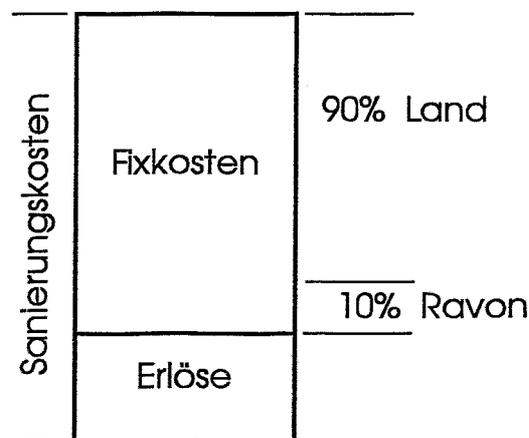


Abbildung 34. Finanzierungsmodell unter Verwendung einer Förderquote von 90%.

gung von Förderrichtlinien auszuhandeln. Dieser Verhandlungsprozeß war jedoch nicht mehr Teil der hier beschriebenen Arbeiten.

Das Finanzierungsmodell wurde zwar abschließend nicht akzeptiert, jedoch stellt die Verwendung anderer Ansätze kein grundsätzliches Problem dar. Wesentlicher ist die Frage, ob eine a-priori Einigung auf ein Finanzierungsmodell überhaupt in der Praxis realisierbar ist. Eine personenspezifische Entscheidungsunterstützung ist nur dann möglich, falls berechnet werden kann, welche Kosten in Abhängigkeit von der Sanierungsvariante für die betreffende Person anfallen. Diese sind nur unter Zugrundelegung eines Fördermodells abschätzbar. Die Einigung auf ein Fördermodell engt indessen den Verhandlungsspielraum der Personen ein. Daher ist durchaus vorstellbar, daß die beteiligten Personen aus strategischen Gründen eine Vorab-Festlegung des Fördermodells ablehnen. Diese Problematik kann aufgrund der gemachten Erfahrungen nicht abschließend beantwortet werden.

Die in Tabelle 6. dargestellte Gesamtnutzenfunktion stellt den Konsensvorschlag für ein behördenübergreifendes Bewertungssystem dar. Die Bausteine der Gesamtnutzenfunktion (Abwägungsparameter und Nutzenfunktionen) wurde mit Techniken, wie sie in 5.3.4.1. und 5.3.4.2. beschrieben wurden, erstellt. Die angegebenen Parameter stellen ein (plausibles) Mittel der Angaben verschiedener, befragter Personen dar. Die weitere Verwendung dieses Konsensvorschlages und insbesondere die aus ihm folgenden Implikationen sind in 5.3.5.2. beschrieben.

Es soll noch einmal ausdrücklich betont werden, daß der oben dargestellte Konsensvorschlag wie auch der Kriterienkatalog lediglich exemplarischen Charakter haben. Eine Übertragung, auch in Teilen, auf andere Altlastenfälle ohne vorherige Anpassung an die dortigen Spezifika ist nicht zulässig.

Formelzeichen der Kriterien:

Fixkosten	K [MDM]
Laufende Kosten	k [MDM/a]
Dauerhaftigkeit	D [MDM/a]
Verkehrswert	V [MDM]
Steuereinnahmen	S [MDM/a]
Saisonarbeitsplätze	A [Anzahl]
Flächennutzungstypen	F [Punkte]
Schutzgut Oberflächenwasser	c [%]

Gesamtnutzenfunktion:

$$u_{ges} = -1 \cdot u_K(K) - 50 \cdot u_k(k) - 25 \cdot u_D(D) + 1 \cdot V + 50 \cdot S + 0.1 \cdot A + 0.0002 \cdot F - 0.13 \cdot u_c(c)$$

Nutzenfunktionen:

$$u_K(K) = (\exp(0.02 \cdot K) - 1) / 0.02$$

$$u_k(k) = (\exp(0.9 \cdot k) - 1) / 0.9$$

$$u_D(D) = (\exp(0.9 \cdot D) - 1) / 0.9$$

$$u_c(c) = (\exp(0.01 \cdot c) - 1) / 0.01$$

Abgeleitete Trade-off-Raten: (gültig am Nullpunkt der Kriterien)

1 Saisonarbeitsplatz	$\cong 0.1$ MDM Fixkosten
1 MDM/a Steuereinnahmen	$\cong 1$ MDM/a Laufende Kosten
1 MDM Verkehrswert	$\cong 1$ MDM Fixkosten
0.1 MDM/a Laufende Kosten	$\cong 5$ MDM Fixkosten
0.2 MDM/a Dauerhaftigkeit	$\cong 0.1$ MDM/a Laufende Kosten
1 (Flächennutzungs-)Punkt	$\cong 200$ DM Fixkosten

Nicht betrachtete Kriterien:

Pot. Deponievolumen, Hausmüllvolumen und Sondermüllvolumen

=> für das Land nicht relevant bzw. für Bergen nicht zutreffend

Permanenter Flächenverbrauch

=> Kriterium doppelt wirtschaftliche Effekte, deshalb Ausschluß

Schadstoffimmisionsrate ins Oberflächenwasser

=> Kriterium konnte aufgrund später Definition nicht mehr berücksichtigt werden

Tabelle 6. Konsensvorschlag für die Gesamtnutzenfunktion der Behörden

5.3.5. Präsentation der Implikationen des Entscheidungsmodells

In Einzel- und Gruppengesprächen wurde den beteiligten Personen sowie zusätzlichen Fachleuten auf dem Altlastengebiet das entstandene, als Kompromißvorschlag formulierte Entscheidungsmodell vorgestellt. Ausgangspunkt dabei war, daß die beteiligten Personen nicht selbständig Implikationen, d.h. Ergebnisse und Handlungshinweise, des Modells ableiten müssen. Die wichtigen Modellteile wurden aus dem Entscheidungsmodell abgeleitet und den Entscheidern zur Diskussion präsentiert. Bei anderen Sanierungsentscheidungen sollte der in Abschnitt 6.2.1. beschriebene Projektbegleiter diese Aufgaben übernehmen. In den Gesprächen sollte herausgefunden werden, wie die Ergebnisse des EA-basierten Entscheidungsmodells verständlich aufbereitet werden können und ob die Personen diese akzeptieren und als nützlich empfinden. Die Gespräche lassen sich in drei Teile gruppieren, die in den nächsten drei Abschnitten näher beschrieben werden sollen.

5.3.5.1. Inspektion des Quantifizierungsteiles

Der erste Untersuchungspunkt bei der Vorstellung des Quantifizierungsteiles war, inwieweit die Personen die durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen (p-Verteilungen) dargestellten Unsicherheiten akzeptieren. Dazu wurde das in Abb. 35. dargestellte Übersichtsdiagramm präsentiert.

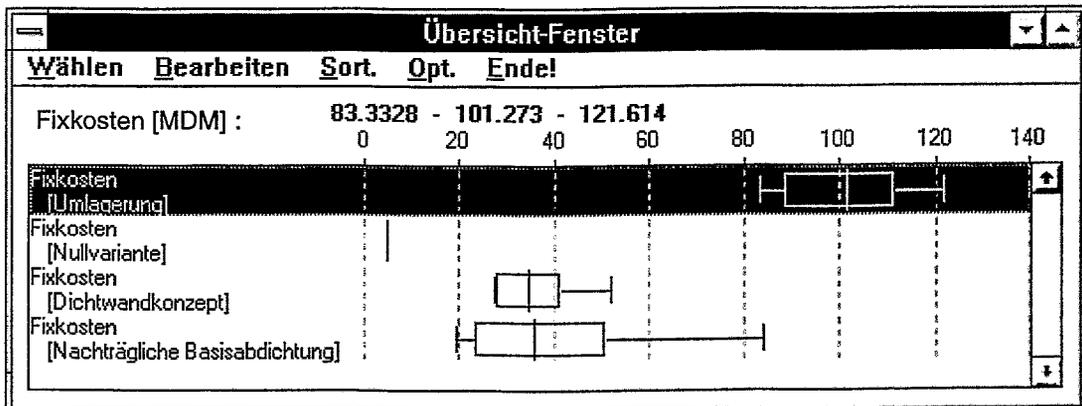


Abbildung 35. Darstellung der Fixkosten für alle Sanierungskonzepte

Besonders auffallend an diesem Diagramm sind die hohen Kosten der Umlagerung und die überraschend große Kostenunsicherheit dieser als gut kalkulierbar eingeschätzten Sanierungsvariante. Zur Klärung dieses Sachverhaltes war eine genauere Inspektion des Quantifizierungsmodelles notwendig. Die Begründung ist aus Abb. 36. ableitbar, die die Sanierungskosten (Fixkosten = Sanierungskosten - Erlöse) der Umlagerung und die einzelnen Kostenfaktoren zeigt. Man kann erkennen, daß die Gesamtkosten durch Addition mehrerer, relevanter Einzelposten sehr hoch werden und daß durch Überlagerung mehrerer, unsicherer Kostenpositionen letzten Endes eine große Kostenunsicherheit für die Sanierungskosten resultiert.

Die Reaktionen der befragten Personen zu den Darstellungs- und Untersuchungsmöglichkeiten von p-Verteilungen waren unterschiedlich. Sehr positive Reaktionen kamen von Ingenieurfirmen, die gegebenenfalls die Quantifizierung leisten müssen. Wie geäußert wurde, stellt es für sie ein großes Problem dar, den Auftraggebern zu plausibilisieren, warum bestimmte Sachverhalte nicht präzise vorhergesagt werden können. Die an sie gestellten

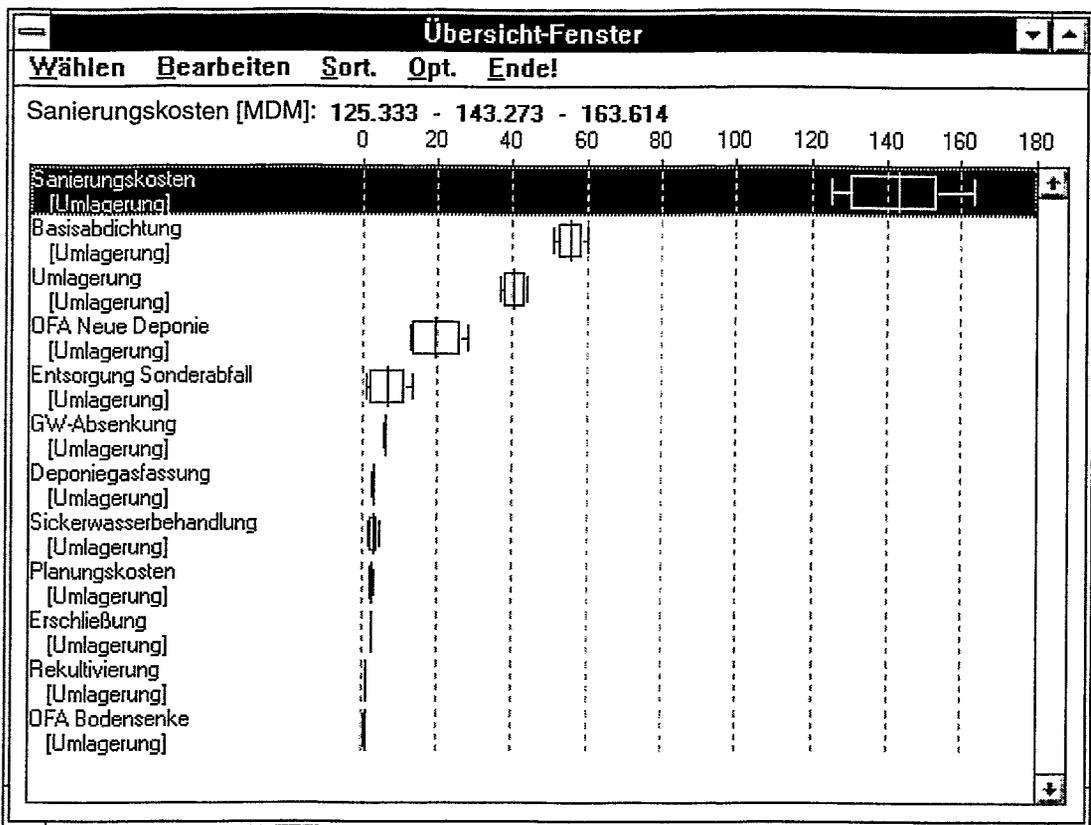


Abbildung 36. Einzelposten der Sanierungskosten des Sanierungskonzeptes 'Umlagerung'

Anforderungen gehen dabei häufig weit über das wissenschaftlich-technisch Machbare hinaus. Die Möglichkeit, mit p-Verteilungen die Ursachen der Aussageunsicherheit zu visualisieren, wurde deshalb explizit begrüßt.

Auf der Seite der Entscheider wurden die dargestellten p-Verteilungen nicht so einhellig befürwortet. So wurde von ihnen der Versuch unternommen, die großen Ergebnisspannen mit dem derzeitigen, geringen Kenntnisstand zu erklären. Nach der detaillierten technischen Erkundung und bei Planung der Sanierungsvarianten durch eine erfahrene Firma seien genauere Aussagen möglich. Am Ende wurden die p-Verteilungen als objektive Darstellung des derzeitigen Kenntnisstandes jedoch akzeptiert.

Viele Personen äußerten, daß sie zwar prinzipiell auch auf der Basis unsicherer Informationen, dargestellt durch p-Verteilungen, entscheiden würden, daß jedoch die angegebenen Unsicherheitsspannen für eine Entscheidung als zu groß empfunden werden (vgl. analoges Problem in 5.3.4.2.). Diese Verhaltensweise deutet auf eine Schwelle zwischen der Akzeptanz von Risikoentscheidungen (vgl. 3.8.) und prinzipieller Ablehnung hin. Sobald die Personen das Gefühl bekamen, die Entscheidung sei mit zu großen Unsicherheiten behaftet, wurde aus der Risikoaversion eine prinzipielle Ablehnung. Dabei kam es nicht darauf an, daß mögliche Ergebnisse außerhalb des akzeptablen Bereiches lagen, sondern nur auf die Spannbreite der Ergebnisse (z.B. Konzept A mit Kosten von 80 MDM wird akzeptiert, B mit Kosten von 20 bis 80 MDM nicht).

Zusammenfassend läßt sich aussagen, daß die Personen die p-Verteilungen, falls diese ausreichend plausibel gemacht wurden, akzeptierten, als Erhöhung ihres eigenen Wissensstandes empfanden und zu Risikoentscheidungen bereit waren, vorausgesetzt, die Spannbreiten wurden nicht als unakzeptabel groß empfunden. Der Akzeptanzschwellenwert für die

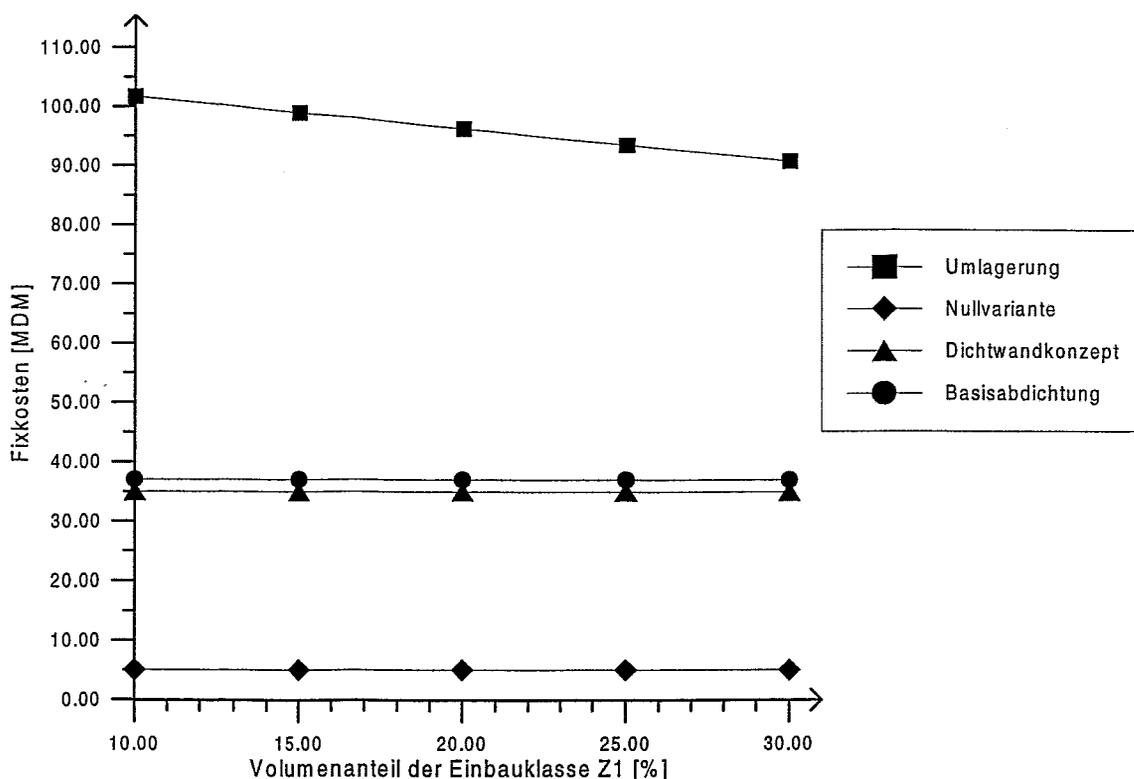


Abbildung 37. Abhängigkeit der Fixkosten von dem Inertstoffanteil für alle Sanierungskonzepte

Spannbreiten, der in der Regel zunächst sehr niedrig liegt, kann durch Erläuterungen erhöht werden.

Der zweite Untersuchungspunkt war, inwieweit die Personen die dargestellten Ergebnisse als eine verlässliche Entscheidungsbasis anerkennen. Es stand zu erwarten, daß die Akzeptanz der Quantifizierungsergebnisse wesentlich größer ist, wenn den Personen die Möglichkeit zum Austesten von Modellveränderungen eingeräumt wird. Deshalb konnten sie ausprobieren, welche Effekte die Änderung einer Eingangsgrößen hat.

Z.B. wurde vermutet, daß der Inertstoffanteil (Prozentsatz Einbauklasse Z1) in der Deponie Bergen mit 10 Prozent zu niedrig geschätzt worden sei und deshalb wesentliche Kostensenkungen durch einen höheren Anteil zu erwarten seien. Durch Variation dieser Größe (s. Abb. 37.) konnte gezeigt werden, daß selbst bei einem äußerst optimistisch geschätzten Anteil von 30% keine Kostenreduktion erreicht werden kann, die die Umlagerung in den Kostenbereich der anderen Alternativen bringt. Auf der Basis dieser Information wurden die Fixkosten der Umlagerung anerkannt.

Ein weiterer, wichtiger Punkt war die Möglichkeit zur Korrektur von Informationen, die von den Entscheidern als verfälscht empfunden wurden⁶⁴. Da die Datenquellen für die Quantifizierung im Altlastenbereich teilweise nicht als neutral eingeschätzt werden können (Anbieterangaben!), sind systematische Verfälschungen anzunehmen. Diese können jedoch nur dann erkannt werden, falls eigene Erfahrungen vorhanden sind oder spezifische Hinweise vorliegen.

⁶⁴ Man muß streng unterscheiden zwischen den Problemen 'unsichere/präzise Informationen', das im Rahmen der EA durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen behandelt wird, und 'verfälschte/verlässliche Informationen', das i.d.R. nur durch subjektive Korrekturen gelöst werden kann. Beide Probleme können im Altlastenbereich kombiniert auftreten ('verfälschte Wahrscheinlichkeitsverteilungen').

Die subjektive Korrektur wurde exemplarisch eingesetzt, um die Angabe eines Anbieters, die aus der Sicht des gegenwärtigen Kenntnisstandes unangemessen präzise erschien, durch Verbreiterung der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu korrigieren. Betrachtet wurde die spezifischen Kosten k zur Erstellung von 1 m² Basisabdichtung mittels Injektion (s. Konzept 'Nachträgliche Basisabdichtung'). Durch Multiplikation der Größe k mit einem Korrekturfaktor f , ergab sich eine neue Verteilung für k : $\tilde{k}_{\text{kor}} = \tilde{k} \cdot (1 + \tilde{f})$. Abb. 38. zeigt die aufgrund (eigener) subjektiver Ansichten erstellte p-Verteilung über den Korrekturfaktor f .

Generell begrüßten die befragten Personen die Möglichkeit zur Korrektur, wiesen jedoch deutlich auf die inhaltlichen Probleme (es müssen eigene Erfahrungen vorhanden sein) und die rechtlichen Schwierigkeiten (es ist problematisch, subjektive Korrekturen zu veröffentlichen) hin.

Insgesamt entstand der Eindruck, daß mit den oben beschriebenen Korrekturmaßnahmen die Verlässlichkeit (vgl. Fußnote 64) der verwendeten Daten für die Entscheidung ausreichend fundiert werden kann. Bei der Präsentation der Ergebnisse (s. 5.3.5.3.) äußerten die Personen keine Zweifel mehr an der Validität der Ergebnisse infolge verfälschter Eingangsdaten. Für die Entscheidungsunterstützung mit der EA bedeutet dies, daß es gerechtfertigt war, mit den Personen eine Gesamtnutzenfunktion auf der Basis hypothetischer, verlässlicher Daten zu erstellen. Es erscheint folglich nicht notwendig, entscheidungsunterstützende Methoden zu konzipieren, die eine implizite Korrektur verfälschter Daten vorsehen⁶⁵. Weiterhin erscheint es sinnvoll, alle Datenquellen, also insbesondere auch verzerrte Anbieterangaben für die Entscheidung zu nutzen, und ggf. vor der Entscheidung eine subjektive Korrektur vorzunehmen. Diese muß nicht notwendigerweise nur von den Entscheidern durchgeführt werden. Auch neutrale Planungsbüros oder Experten für Spezialgebiete der Sanierung können mit dieser Aufgabe betraut werden.

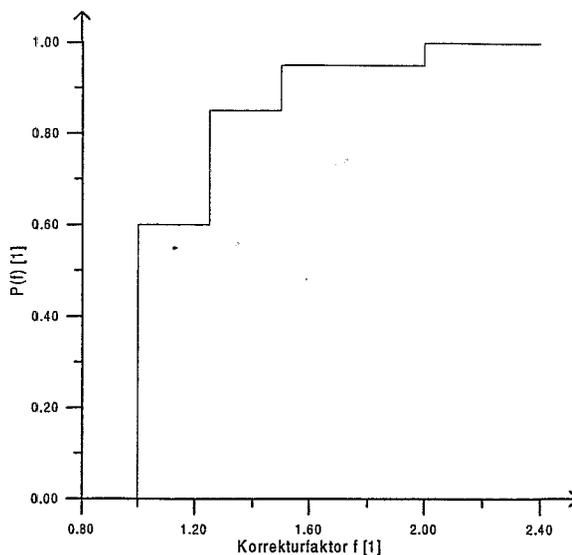


Abbildung 38. Wahrscheinlichkeitsverteilung über den Korrekturfaktor f zur Korrektur der spezifischen Flächenkosten (Kosten pro Quadratmeter Basisabdichtung) des Sanierungskonzeptes 'Nachträgliche Basisabdichtung'

5.3.5.2. Vorstellung des Bewertungsteiles

Die Vorstellung des Bewertungsteiles zielte darauf ab zu untersuchen, inwieweit die Behandlung von Risikoproblemen durch eindimensionale Nutzenfunktionen und die von multiattributiven Problemen durch gewichtete Zusammenfassung (Gesamtnutzenfunktion) durch die beteiligten Personen akzeptiert wird.

⁶⁵ Derartige Methoden könnten darauf beruhen, zusammen mit der Information auch die Informationsquelle zu nennen. Einfache Entscheidungsprobleme in diesem Rahmen könnten wie folgt aussehen: 'Entweder Konzept A (Kosten=75 MDM laut Anbieter A) oder Konzept B (Kosten=70 MDM laut Anbieter B).

Entscheidungen in Risikosituationen mittels Nutzenfunktionen:

Anhand des in Abb. 35. dargestellten Vergleiches der Fixkosten zwischen der 'Dichtwand' und der 'Nachträglichen Basisabdichtung' wurde erneut auf die Risikoproblematik und das Verhalten bei Unsicherheit hingewiesen. Zusätzlich zur Ermittlung des Risikoverhaltens durch einfache Lotterien wurde die Parametrisierung durch nichtlineare Nutzenfunktionen qualitativ erläutert, wobei neben der Anwendung der Nutzenfunktionen für unsichere Entscheidungen auf die Möglichkeiten bei der Berücksichtigung von Schwellenwerten (z.B. verfügbarer Etat) hingewiesen wurde.

Anschließend wurde beispielhaft demonstriert, wie die Unsicherheiten in Verbindung mit dem Risikoverhalten die Entscheidung bestimmen können. In Abb. 39. sind die Gesamtnutzenerwartungswerte (\bar{u}_{ges}^k) für die Alternativen 'Nullvariante', 'Nachträgliche Basisabdichtung' und 'Dichtwand' als Funktion des Risikoparameters α der eindimensionalen Nutzenfunktion der Fixkosten ($u_K(K) = (\exp(\alpha \cdot K) - 1) / \alpha$, vgl. 5.3.4.3. und 3.8.) aufgetragen. Hierbei bedeutet ein Parameter von 0 risikoneutrales und von 0.04 sehr risikoscheues Verhalten⁶⁶. Der Kompromißvorschlag liegt bei 0.02 und wurde durch die dahinterliegende Lotterieentscheidung veranschaulicht (vgl. Abb. 33.):

$$[44 \text{ MDM}] \approx [0.5: 20 \text{ MDM}; 0.5: 60 \text{ MDM}].$$

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, daß (bei Vernachlässigung der Nullvariante) die Entscheidung 'Dichtwand' oder 'Nachträgliche Basisabdichtung' vom Risikoverhalten abhängt. Falls die 'Nullvariante' als mögliche Sanierungsalternative ausfallen würde, wäre hier ein Abstimmungsbedarf zwischen den Entscheidern vorhanden.

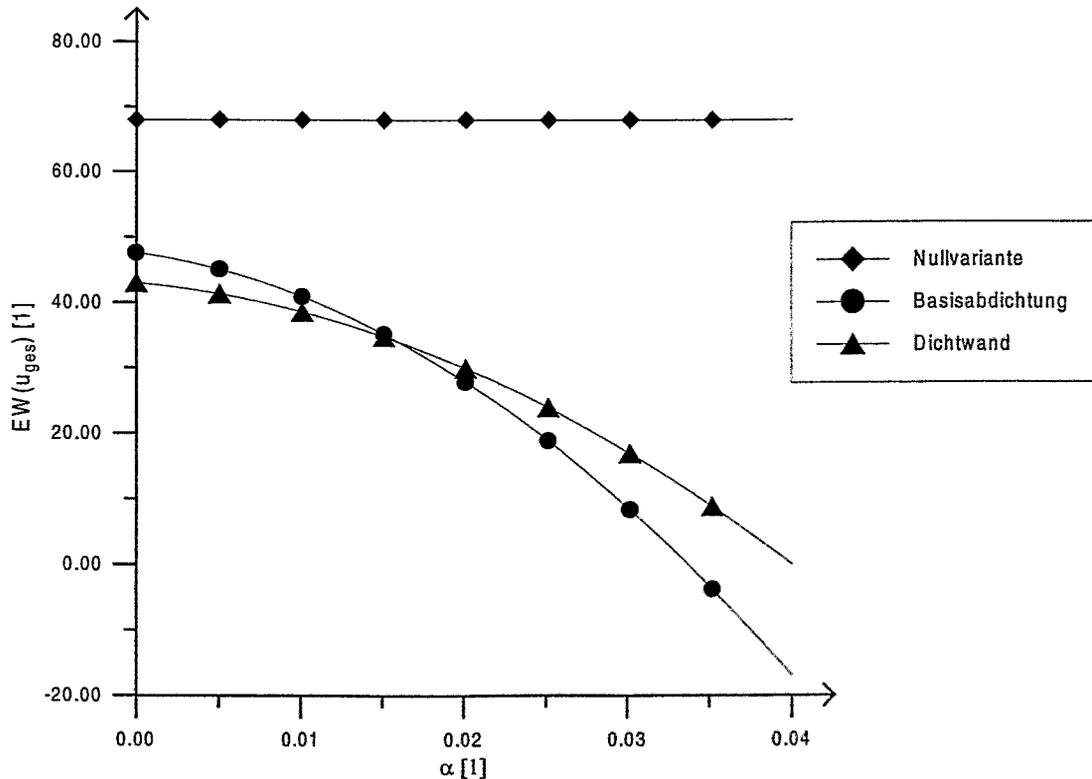


Abbildung 39. Abhängigkeit der Gesamtnutzenerwartungswerte der Alternativen 'Nullvariante', 'Nachträgliche Basisabdichtung' und 'Dichtwand' vom Risikoverhalten parametrisiert durch den Risikoparameter α (s. Text). Die Umlagerung wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen.

⁶⁶ Der Bereich $\alpha=0 - 0.04$ spiegelt die verschiedenen Risikoverhaltensweisen der befragten Personen wider.

Ein weiterer, wichtiger Punkt im Zusammenhang mit dem Risikoverhalten war die in Abschnitt 5.3.4.2. angesprochene Rückwirkungen des Risikoverhaltens auf die lokalen Trade-off-Raten. Dazu wurde ein Ausschnitt aus der Gesamtnutzenfunktion für die Kriterien 'Fixkosten' K und 'Flächennutzungstypen' F angegeben:

$$u_{ges} = -1 \cdot u_K(K) + 0.0002 \cdot u_F(F) + \dots$$

Unter Verwendung der Gesamtnutzenfunktion aus 5.3.4.3. ergibt sich, daß bei $K=0$ MDM ein (Flächennutzungs-)Punkt mit DM 200,- bewertet wird und bei $K=35$ MDM mit DM 100,-. D.h. die Trade-off-Rate ändert sich um den Faktor 2. Die von einer befragten Person explizit formulierte Begründung, daß bei steigenden Kosten die Diskussion um weitere Kostensteigerungen immer härter wird, erschien allen Personen plausibel. Die Änderung der Trade-off-Raten stellt deshalb eine wünschenswerte Eigenschaft des Bewertungssystems dar. Trotzdem sollten die Wechselwirkungen zwischen Risikoverhalten, Trade-off-Raten und nichtlinearer Gewichtung in Zukunft stärker berücksichtigt werden. Weitere Hinweise dazu finden sich in 8.1.

Um die Diskussion zur Risikoproblematik abzuschließen, wurden die Konsequenzen der Nutzenfunktionen für die Bewertung unsicherer Ergebnisse anhand Abb. 40. verdeutlicht. Der Erwartungswert der Fixkosten ist bei beiden Konzepten gleich, der Erwartungswert von $u(\text{Fixkosten})$ ⁶⁷ jedoch bei der 'Nachträglichen Basisabdichtung' deutlich höher. Die 'Nachträgliche Basisabdichtung' wird somit (auf den Fixkosten) wegen ihrer potentiell hohen Kosten schlechter bewertet. Dieser 'Bewertungsabschlag' wurde von den Personen als qualitativ einsichtig empfunden.

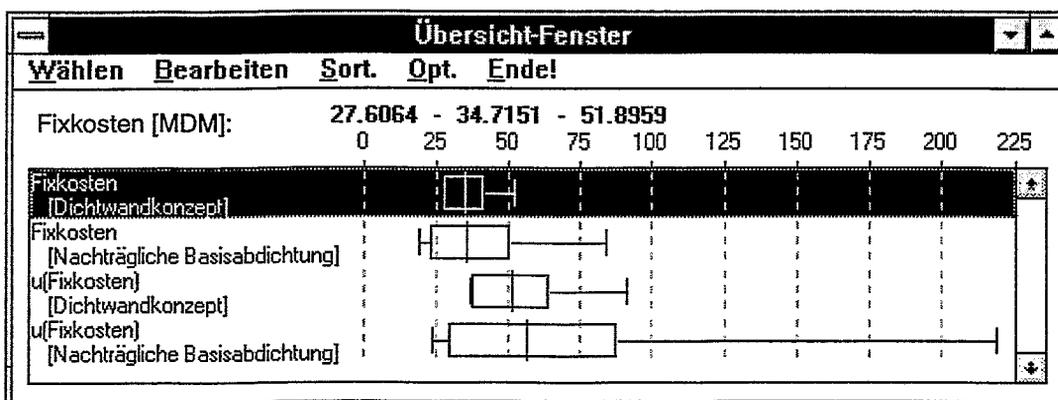


Abb. 40. Auswirkungen der Nutzenfunktion bei sicheren und unsicheren Alternativen

Zusammenfassend läßt sich zur Akzeptanz der Risikobehandlung mit den Methoden der EA folgendes aussagen:

- Risikoentscheidungen werden akzeptiert, falls die Spannbreiten der Wahrscheinlichkeitsverteilungen bestimmte Intervallgrößen nicht überschreiten. Durch gezielte Erläuterungen können diese Intervalle verbreitert werden.
- Die Formalisierung des Risikoverhaltens durch Nutzenfunktionen, der daraus folgende 'Bewertungsabschlag' für unsichere Konzepte, die Nebeneffekte bei den Trade-off-Raten und schließlich die Untersuchungen zur Entscheidungsrelevanz des Risikoverhaltens wurden akzeptiert.

⁶⁷ Aufgrund der hier verwendeten Normierung der Nutzenfunktion (Steigung 1 am Nullpunkt) ist $u(\text{Fixkosten})$ korrekter als Schadensfunktion zu bezeichnen.

Falls wie in diesem Fall entscheidungsrelevante Unsicherheiten vorliegen, muß über die Möglichkeiten zur Reduktion nachgedacht werden (vgl. Informationswertberechnungen aus 3.12). Die Kostenunsicherheiten der 'Nachträglichen Basisabdichtung' können durch die Errichtung einer Testwanne reduziert werden. Deshalb wurde die Errichtung der Testwanne empfohlen.

Behandlung multiattributiver Probleme durch gewichtete Zusammenfassung:

Der zweite Teil der Vorstellung des Bewertungsmodells hatte zum Ziel, den Personen die Behandlung multiattributiver Probleme durch gewichtete Zusammenfassung der eindimensionalen Nutzenfunktionen zu demonstrieren und die Folgerungen ihrer Aussagen zu verdeutlichen. Die Vorstellung der Form der Gesamtnutzenfunktion erfolgte bereits im Zusammenhang mit den Nutzenfunktionen (s.o.), so daß hier keine weiteren Erläuterungen notwendig waren.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Demonstration der Effekte bei Variation von Abwägungsparametern gelegt. In Abb. 41. ist \bar{u}_{ges}^k der Handlungsalternativen als Funktion des Gewichtes der 'Laufenden Kosten' k_k aufgetragen. Der Variationsbereich ist so gewählt, daß er alle Aussagen der verschiedenen, befragten Personen enthält. Der präsentierte Konsensvorschlag lautet⁶⁸: $k_k=50$. Man kann den numerischen Werten des Abwägungsparameters eine anschauliche Bedeutung durch die Angabe lokaler Trade-off-Raten verleihen⁶⁹. Anhand dieses Diagramms wurde zusätzlich erläutert, wie man die Relevanz von Abwägungsparametern bestimmt. Relevant ist ein Abwägungsparameter, wenn sich die Bewertung der verschiedenen Handlungsalternativen relativ zueinander verschiebt, irrelevant ist er, falls die sich ergebenden Kurven Parallelen sind. Die Präsentation der gewichteten Zusammenfassung schloß mit der Diskussion des Konsensvorschlages, wie er in 5.3.4.3. angegeben ist.

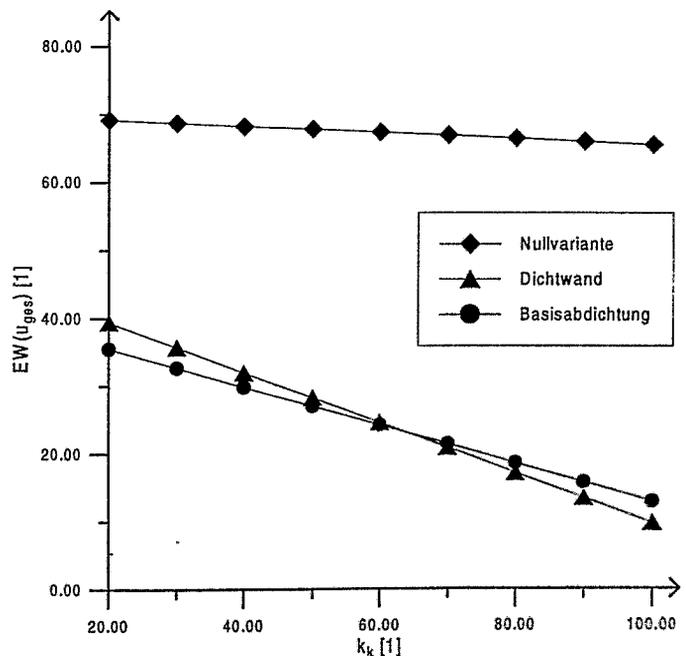


Abbildung 41. Auswirkungen der Variation des Gewichtes der 'Laufenden Kosten' k_k auf die Gesamtbewertung

Im Gegensatz zur Ermittlung der Abwägungsparametern, die auf massive Schwierigkeiten gestoßen war, traten hierbei keine großen Probleme mehr auf. Der Konsensvorschlag wurde allgemein akzeptiert und nur in einzelnen Punkten als leicht verzerrt empfunden. Übereinstimmend erklärten die Personen, daß ihnen die Untersuchungen zur Relevanz von Abwägungsparametern äußerst wichtig erschienen. Dabei kam es ihnen weniger auf die Durchset-

⁶⁸ Das arithmetische Mittel der Einzelschlüsse wurde dazu gerundet.

⁶⁹ Am Nullpunkt der Kriterien 'Fixkosten' [MDM] und 'Laufende Kosten' [MDM/a] gilt die Äquivalenz:

$$1 \text{ MDM} \approx k_k \text{ MDM/a.}$$

Der Parameter k_k kann auch als Betrachtungszeitraum der 'Laufenden Kosten' interpretiert werden.

zung eigener Absichten an, als vielmehr auf die Erzielung eines Konsensvorschlages für die Bewertung. Insbesondere die Tatsache, daß bis zu diesem Punkt nur über Bewertungen und nicht über Konzepte diskutiert worden war, erschien den Personen als eine Objektivierung des Entscheidungsprozesses, weil dadurch die Verzerrung der Bewertung durch Orientierung des Bewertungssystems an der persönlich präferierten Alternative unterbunden wird.

Die Entscheidung auf der Basis des Gesamtnutzerwartungswertes war für die Personen nach eigenen Aussagen zwar ungewohnt, wurde letztendlich aber doch akzeptiert. Die Personen zweifelten die abgeleiteten Ergebnisse nicht an.

5.3.5.3. Ableitung von Ergebnissen und Handlungshinweisen

Auf der Basis der nun vorhandenen Gesamtnutzenfunktion konnten die vier Sanierungskonzepte bewertet und so Ergebnisse und Handlungshinweise abgeleitet werden. Dazu wurden zuerst die Auswirkungen verschiedener, im Zuge administrativer Genehmigungen festzulegender Randbedingungen untersucht (s. u.a. 5.3.3.3., Punkt 2., Genehmigungsvarianten). Bei dem betrachteten Anwendungsfall handelte es sich insbesondere um die Festlegung des weiteren Betriebes der Deponie Bergen. Über das verfügbare 'Ablagerungsvolumen' ist es möglich, die drei Deponiebetriebsszenarien zu parametrisieren (s. Abb. 42.: 0 Mm³ = sofortiger Abschluß, 0,42 Mm³ = Betrieb bis 2005, >0,42 Mm³ = Betrieb auch nach 2005). Aus Abbildung 42. ist erkennbar, daß erst ab einem genehmigten Ablagerungsvolumen von 0,67 Mm³ die Sicherungsvarianten besser bewertet werden als die Nullvariante⁷⁰. Im Falle eines sofortigen Abschlusses, gewinnt die Nullvariante mit weitem Abstand gegenüber den Sicherungsvarianten⁷¹. Dieses Ergebnis ist relativ einfach zu erklären: ein Weiterbetrieb führt zu erhöhten Erlösen durch den gewonnenen Deponieraum und senkt damit die aufzubringenden Fixkosten ('Fixkosten' = 'Sanierungskosten' - 'Erlöse').

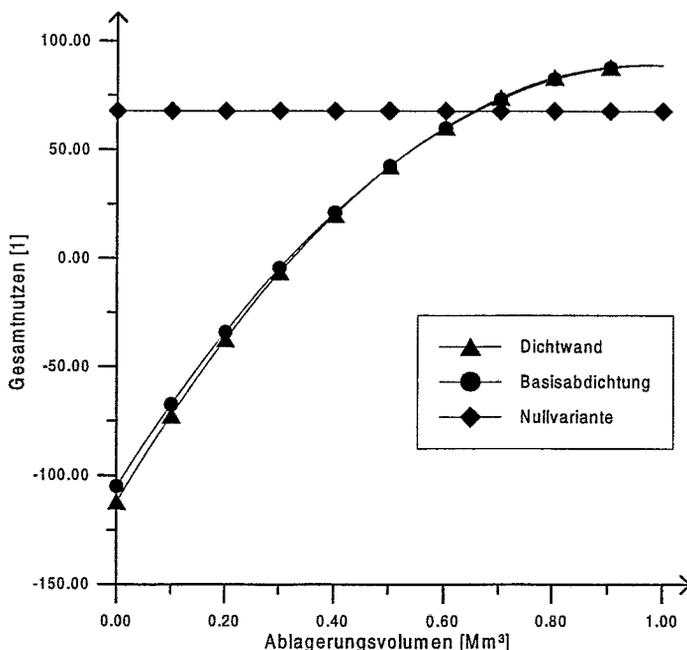


Abbildung 42. Auswirkungen verschiedener Deponiebetriebsszenarien (s. Text) auf die Gesamtbewertung

Abbildung 42. war vor allem für die Vertreter von Behörden gedacht, um ihnen die Folgen verschiedener Genehmigungsvarianten zu veranschaulichen. Für die weitere Rechnung wurde in Übereinstimmung mit den Behördenvertretern ein Weiterbetrieb bis zum Jahr 2005, d.h. ein

⁷⁰ Die Nullvariante hat definitionsgemäß den sofortigen Abschluß zur Folge. Der Parameter 'Ablagerungsvolumen' ist daher für sie bedeutungslos.

⁷¹ Die Umlagerung liegt in der Bewertung wiederum so viel schlechter, daß sie aus Gründen der Übersichtlichkeit bei dem Diagramm weggelassen wurde

Restvolumen von 0,42 Mm³ angenommen⁷². Mit dieser Annahme sind die Sanierungskonzepte komplett definiert und es kann die sich ergebende Gesamtbewertung inspiziert werden (s. Abb. 43.). Dies ist das zentrale Ergebnis der EA-Anwendung. Aufgetragen sind die Gesamtnutzenergebnisse der Sanierungskonzepte. Weiterhin sind die einzelnen Teile der Gesamtnutzenfunktion gemäß der Strukturierung der Kriterien nach 5.3.2.2. aufgetragen (vgl. Tab. 6). Man beachte die gewichtete Darstellung (vgl. 4.3.4.):

- *Wirtschaftl. Effekte $= 1 \cdot V + 50 \cdot S + 0,1 \cdot A$
- *Monetäre Kriterien $= -1 \cdot u_K(K) - 50 \cdot u_k(k) - 25 \cdot u_D(D)$
- *u(Flächennutzungstypen) $= 0,0002 \cdot F$
- *Auswirkungen auf das OFW $= -0,13 \cdot u_c(c)$

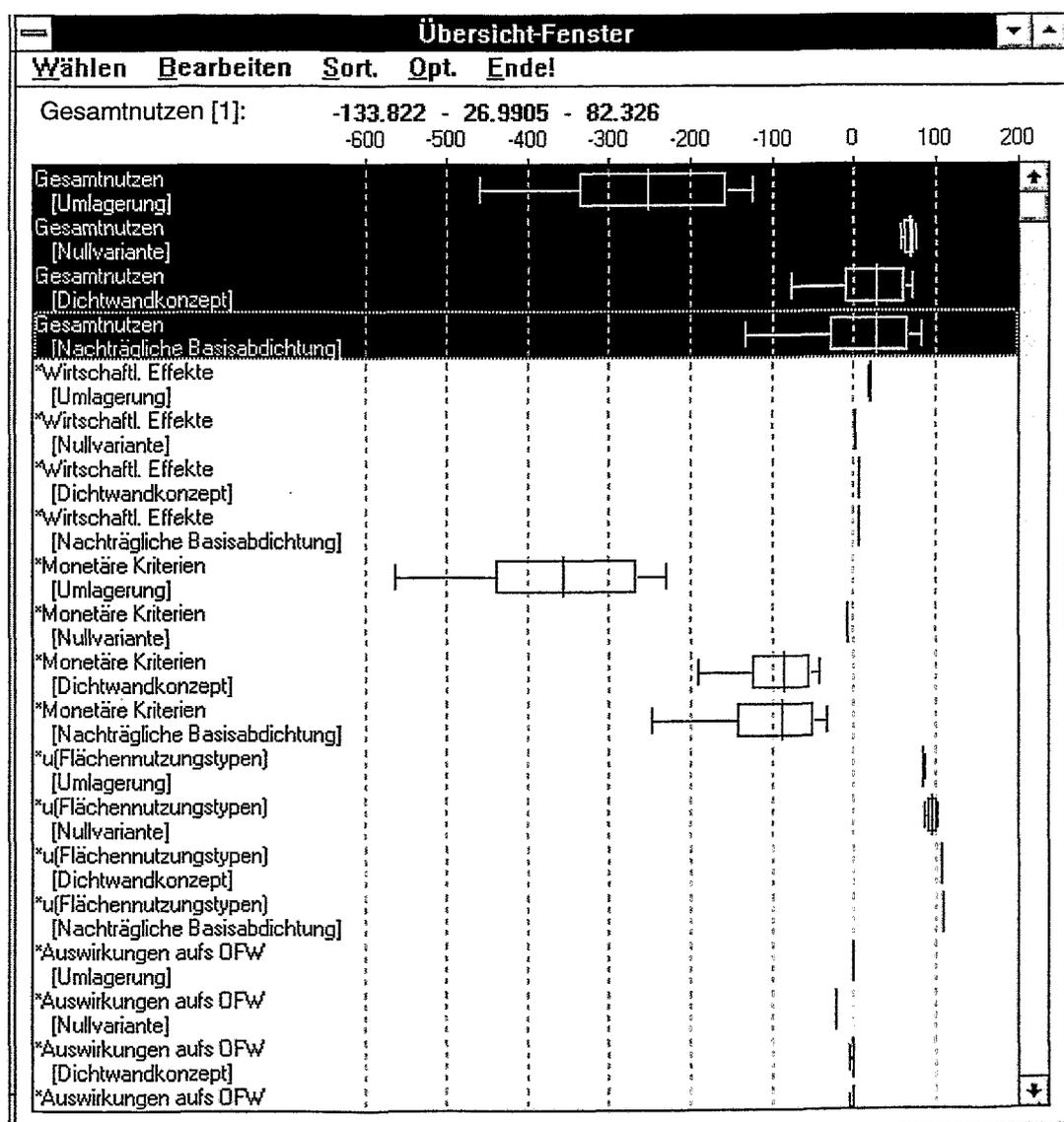


Abbildung 43. Überblick über die Bewertungsergebnisse (OFW=Oberflächenwasser). Gewichtete Darstellung der Einzelkriterien(-gruppen) (s. Text).

⁷² Generell stellt sich die Frage, ob überhaupt Handlungsspielraum vorhanden ist, oder ob z.B. bestehende Gesetze die Schließung einer nicht TA-Siedlungsabfall-konformen Deponie erzwingen. Bei dem betrachteten

Als Quintessenz der vorherigen Ausführungen wurden abschließend Implikationen, d.h. Ergebnisse und Handlungshinweise (s. Tabelle 7), des entstandenen Entscheidungsmodells formuliert, um zu testen, inwieweit die Personen diese akzeptieren bzw. als nützlich empfinden. Diese bezogen sich auf das verwendete Bewertungssystem, auf die betrachteten Sanierungskonzepte sowie auf weiterführende Handlungshinweise.

Bei der Interpretation der Implikationen muß jedoch beachtet werden, daß die hier vorgelegten Arbeiten zur EA einen zeitlichen Vorgriff auf den aktuellen Bearbeitungsstand des Sanierungsfalles Bergen darstellen und deshalb nicht direkt auf ihn übertragen werden können. Die zur Schließung von Datenlücken notwendigen, zahlreichen Annahmen, könnten sich als nicht stichhaltig erweisen.

Tabelle 7: Abgeleitete Ergebnisse und Handlungshinweise⁷³:

Zu den Kriterien:

- k1) Die monetären Kriterien dominieren die Entscheidung (Abb. 43.)
Die Fixkosten sind das wichtigste monetäre Kriterium
Bemerkenswert ist dieses Resultat insbesondere hinsichtlich der Dominanz der monetären Kriterien gegenüber den Umweltkriterien. Es deutet sich hier an, daß entweder die untersuchten Sanierungskonzepte im Verhältnis zum verhinderten Umweltschaden zu teuer sind oder aber der Umweltschaden noch nicht befriedigend quantitativ erfaßt wurde.
- k2) Die wirtschaftlichen Aspekte sind für Entscheidung unwichtig (Abb. 43.)
Diese Aussage ist stabil gegenüber Variationen der Abwägungsparameter
Dieses Ergebnis war aufgrund der Randlage des untersuchten Objektes und fehlender, wirtschaftlicher Projekte zu erwarten. Das Konzept mit den wirtschaftlich besten Auswirkungen (Umlagerung) konnte keine entscheidenden Pluspunkte erzielen. Eine Berücksichtigung des Natur- und Wildparkprojektes hätte jedoch sicherlich zu einer anderen Aussage geführt.
- k3) Die abfallwirtschaftlichen Aspekte gehen lediglich über die Erlöse in die Entscheidung ein
Der weitere Betrieb der Deponie Bergen bestimmt maßgeblich die Verhältnismäßigkeit einer Sanierung (Abb. 42.)
Die erste Aussage ist eine Folge der einheitlichen Ansicht der befragten Behördenvertreter, daß der Ressourcenwert von Deponievolumen im Falle von Bergen nicht relevant ist. Die zweite Aussage deutet an, daß bei einem sofortigen Abschluß der Deponie Bergen eine Sanierung nicht finanzierbar ist. Es ist somit ein dringender Regelungsbedarf für die Genehmigungsbehörden bezüglich des weiteren Deponiebetriebes vorhanden.
- k4) Umweltauswirkungen bestimmen die Sanierungsentscheidung nicht (Abb. 43.)
Kommentar s. s2 und k1).

Anwendungsfall wurde davon ausgegangen, daß der Weiterbetrieb der gesicherten Deponie genehmigungsrechtlich denkbar ist.

⁷³ Die kursiven Textteile sind eigene Kommentare, die zur Erläuterung der Ergebnisse dienen und weiterführende Handlungshinweise geben.

Zu den Sanierungskonzepten:

- s1) Die Umlagerung ist zu teuer und unsicher (Abb. 35.)
Entgegen vorherigen Vermutungen, daß die Umlagerung eine sichere Sanierungsvariante ist, zeigten sich große Kostenunsicherheiten. Diese resultieren vor allem aus der ungenauen Kenntnis des Deponievolumens und der Zusammensetzung des Deponiekörpers. Da die Umlagerung fast doppelt so teuer ist, wie die beiden Sicherungskonzepte, erweist sie sich als unverhältnismäßig. Ihre positiven, wirtschaftlichen Effekte sind unter den angenommenen Nutzungen nicht ausreichend. Deshalb sollte die Umlagerung als Sanierungskonzept nicht weiter verfolgt werden.
- s2) Die Nullvariante ist unter dem derzeitigen Bewertungssystem am besten (Abb. 43.)
Diese Aussage wird durch die unbefriedigende Definition der Umweltkriterien (s. 5.3.2.2.) relativiert. Aus dem derzeitig verwendeten Bewertungssystem folgt, daß die 'Nachträgliche Basisabdichtung' (NB) und die 'Dichtwand' (DW) im Vergleich zum verhinderten Umweltschaden zu teuer sind und keine verhältnismäßige Sanierungslösung darstellen.
- s3) Die 'Dichtwand' und die 'Nachträgliche Basisabdichtung' sind in etwa gleichwertig (Abb. 43.)
Die Nachträgliche Basisabdichtung hat gegenüber der Dichtwand viele, kleine Vorteile, weil sie eine flexiblere und einfacher einsetzbare Technologie darstellt. Negativ geht für sie in die Bewertung ein, daß sie noch nicht Stand der Technik ist. Dies spiegelt sich in den (subjektiv korrigierten !) Kostenunsicherheiten wider (s.a. h2).

Handlungshinweise für den Anwendungsfall:

- h1) Die Entwicklung kleinerer und flexiblerer Konzepte ist angeraten
Der von dem betrachteten Sanierungsobjekt zu erwartende Umweltschaden kann zwar beträchtlich sein, die bisherigen Sanierungsansätze haben sich aber gegenüber der Nullvariante als nicht verhältnismäßig herausgestellt (s2). Als Anregung kann dem Entscheidungsmodell entnommen werden, daß bedeutend preiswertere Sanierungsansätze entwickelt werden sollten. Eine Handlungsanregung gibt dazu der bisher nur sehr ungenau bekannte, zukünftige Schadstoffaustrag. Denkbar wären Sanierungsansätze, die flexibel auf den tatsächlich eintretenden Schadstoffaustrag reagieren können.
- h2) Eine Testwanne bringt Klarheit über Realisierbarkeit und Kosten der 'Nachträglichen Basisabdichtung'
Falls eine Entscheidung zwischen den beiden Sicherungskonzepten zu treffen ist, so lohnt es sich, vorab die Kostenunsicherheit der 'Nachträglichen Basisabdichtung' durch einen Vorversuch zu reduzieren. Dieser Vorversuch könnte in der von der Firma Y angebotenen Testwanne bestehen. Eine Berechnung des Informationswertes ist aufgrund des dominanten Charakters der Nullvariante nicht sinnvoll⁷⁴.
- h3) Die Errichtung eines Damms ist variantenunabhängig zu empfehlen
Falls die Umlagerung als Sanierungsansatz nicht mehr betrachtet werden soll und auch die Entwicklung neuer Konzepte nicht geplant ist, so benötigen die drei verbleibenden Ansätze einen Damm um die Deponie herum. Über dessen Errichtung könnte unabhängig von der Wahl eines der drei verbleibenden Konzepte nachgedacht werden.

⁷⁴ Da die Nullvariante für jedes Ergebnis des Vorversuches zur 'Nachträglichen Basisabdichtung' optimal bleibt, ergibt sich ein Informationswert von 0 MDM.

Die Reaktionen der beteiligten Personen auf die Vorstellung dieser Implikationen waren verhalten. Diese Tatsache dürfte verschiedene Ursachen haben:

- Die Personen waren vermutlich mit der zeitgleichen Demonstration des Quantifizierungs- und Bewertungsteiles sowie den Bewertungsergebnissen überfordert. Deshalb erscheint es notwendig, den Personen Material zur Verfügung zu stellen, anhand dessen sie die Implikationen eigenständig nachvollziehen können (s. 8.2.).
- Die oben beschriebenen Arbeiten stellen einen Vorgriff in der Bearbeitung des Sanierungs-falles Bergen dar. Deshalb mußten keine sofortigen Entschlüsse über weitere Handlungen gefaßt werden. Die Personen unterlagen diesbezüglich keinem Handlungsdruck. Die gegebenen Hinweise zu sinnvollen, sofortigen Handlungen (Deponiebetrieb festlegen, Finanzierung klären, Wechselwirkungen mit Natur- und Wildparkprojekt untersuchen, über Dammbau nachdenken, Auswirkungen auf das perspektivisch anstehende Oberflächengewässer ermitteln) wurden nicht kommentiert, wobei nur schwer abzuschätzen ist, welche internen Prozesse in den Behörden ablaufen.
- Schließlich war der Sanierungsfall Bergen zu dem Zeitpunkt der abschließenden Demonstrationen dadurch gekennzeichnet, daß durch den geplanten Natur- und Wildpark die äußeren Randbedingungen einer Sanierung von Bergen nicht klar definiert waren, weshalb die Personen verstärkt eine passive Rolle einnahmen.

Bis auf den ersten Punkt sind diese Tatsachen jedoch spezifisch für den betrachteten Anwendungsfall. Aus der Passivität der Personen kann nicht darauf geschlossen werden, daß die Ergebnisse der EA-Anwendung für sie keinen Informationsgewinn darstellen.

Generell muß überlegt werden, bis zu welchem Punkt eine Entscheidungsvorbereitung erfolgen kann und sollte. Bei dem betrachteten Anwendungsfall wurden Handlungsempfehlungen ausgesprochen und durch Hinweise auf das Entscheidungsmodell plausibilisiert. Bei öffentlichen Entscheidungen erfolgt daraufhin erst eine interne Meinungsbildung in den beteiligten Fachbehörden und dann eine Abstimmung zwischen den Fachbehörden auf eine gemeinsame Handlungsempfehlung. Diese Konsensmeinung tritt dann in Konkurrenz zu den Meinungen anderer, an dem Sanierungsfall Beteiligter (Sanierungsverpflichtete) und kann durch Diskussion in einem übergeordneten Konsens münden. Diese Konsensfindungsprozesse konnten bei dem betrachteten Anwendungsfall wegen der oben beschriebenen Spezifika nicht mehr durchgeführt und unterstützt werden. Ansätze für diesen Themenkomplex finden sich in 7.2.

5.3.6. Diskussion des entstandenen Entscheidungsmodells

Bei der Interpretation des entstandenen Entscheidungsmodells und der aus ihm abgeleiteten Implikationen müssen die Anwendungsgrenzen unbedingt beachtet werden. Es handelt sich um ein fallspezifisches Modell, das auf den Aussagen der beteiligten Personen beruht. Es erhebt nur insoweit den Anspruch auf Vollständigkeit, als alle Aspekte, die von den befragten Personen genannt wurden, in dem Modell enthalten sind⁷⁵. Es ist ohne vorherige Revision nicht auf andere Altlastenfälle übertragbar, insbesondere nicht die Nutzenfunktionen und die Abwägungsparameter. Übertragbar ist jedoch das Vorgehen zur Erstellung des Entscheidungsmodells und auch einige Elemente (Kriterien) können wiederverwendet werden.

⁷⁵ Eine Ausnahme bildet der Aspekt "Scheitern von Varianten" auf den in 7.1. eingegangen wird.

Inhaltlich ist bei dem Entscheidungsmodell und dabei insbesondere im Bewertungsteil (Umweltkriterien) erheblicher Änderungsbedarf vorhanden. Da es nicht Ziel dieser Arbeit war, fachliche Vorschläge zu unterbreiten, liegt hier ein Definitionsbedarf für die zuständigen Behörden bzw. weiterer Forschungsbedarf vor.

Was den konsensualen Aspekt anbetrifft, so sind speziell weitere Arbeiten zum Finanzierungsmodell notwendig. Das hätte im Rahmen von Diskussionen zwischen Behörden und Sanierungsverpflichtetem durchgeführt werden können. Auch die Legitimität von Kriterien wäre in diesem Rahmen sicher kontrovers diskutiert worden.

Schließlich soll festgestellt werden, daß das entstandene Bewertungssystem keine einfache Monetarisierung darstellt. Die im Abschnitt 5.3.4.2. angegebenen Trade-off-Raten, die diese Vermutung nahelegen, sind infolge der nichtlinearen Nutzenfunktionen nur lokal gültig. Von den Beteiligten wurde nie der Vorwurf einer einfachen Monetarisierung erhoben.

6. Anwendbarkeit der EA im Altlastenbereich

6.1. Was bedeutet Anwendbarkeit ?

Grundvoraussetzung für die Anwendung einer entscheidungsunterstützenden Methodik ist ein Bedarf. Dieser wurde anhand der notwendigen Arbeitsschritte im Zuge der Sanierungsuntersuchung in 2.2. dargelegt. Die technischen Anforderungen, die an eine Methodik für den Einsatz im Altlastensektor zu stellen sind, wurden im Abschnitt 2.3. erläutert und im Abschnitt 3.13. wurde gezeigt, daß die EA in der Lage ist, diesen Anforderungen zu genügen.

Über die Erfüllung der technischen Anforderungen hinaus, muß die EA jedoch noch weiteren Ansprüchen genügen, bevor von einer Anwendbarkeit gesprochen werden kann. Diese Ansprüche resultieren zu einem großen Teil aus der Spezifik des Anwendungsgebietes "Öffentliche Entscheidungen" und teilweise aus den spezifischen Problemen im Altlastensektor. Diese weitergehenden Ansprüche werden in den folgenden Abschnitten aus Problemen des untersuchten Anwendungsfalles abgeleitet und diskutiert. Aus den aufgetretenen Problemen können Rückschlüsse auf notwendige Rahmenbedingungen für die Anwendung der EA für Sanierungsentscheidungen gezogen werden.

- Die Tabelle 7. gibt einen Überblick, indem sie einen Vergleich zwischen für die EA-Anwendung ideal geeigneten Anwendungsproblemen und realen Entscheidungsproblemen bei öffentlichen Sanierungsentscheidungen zieht. In den zugeordneten Abschnitten werden die Probleme näher erläutert und Lösungsansätze entwickelt.

6.2. Vermittelbarkeit notwendiger EA-Kenntnisse

6.2.1. Projektbegleiter

Notwendigkeit eines Projektbegleiters und sein Aufgabenspektrum

Die Entscheidungsanalyse (EA) stellt hohe Anforderungen an die anwendende Person, was die Kenntnis des zu betrachtenden Problemfeldes, die Fähigkeit zur Erstellung sinnvoller Modelle und die Vertrautheit mit den entscheidungsanalytischen Methoden angeht. Diese Anforderungen sind von den Beteiligten bei der Sanierung von Altlasten⁷⁶ weder direkt zu erfüllen, noch kann das notwendige Wissen im Zuge der Sanierungsuntersuchung vermittelt werden. Mit diesem Problem vor Augen könnte man versuchen, einfache, leicht zu erklärende und anschauliche Entscheidungsmethodiken zu verwenden (Filterverfahren, Punkteschemata). Leider sind solche Methoden in der Regel nicht geeignet, die Problemkomplexität, die den Entscheidungen bei der Sanierung von Altlasten eigen ist, adäquat darzustellen oder durch zulässige Vereinfachungen zu reduzieren. Daher ist es notwendig, eine Person, im weiteren **Projektbegleiter**⁷⁷ (PB) genannt, mit der Erstellung und Vermittlung eines problemadäquaten Entscheidungsmodells zu beauftragen.

⁷⁶ Sanierungsverpflichteter, kommunale Behörden, Umweltbehörden, Genehmigungsbehörden Ingenieurbüros, Gutachterfirmen, Sanierungsanbieter, Öffentlichkeit, u.v.m.

⁷⁷ Im Unterschied zur hier verwendeten Terminologie wird der Begriff 'Projektbegleiter' bzw. 'Projektsteuerer' in der derzeitigen Praxis der Bearbeitung von Altlastenfällen für eine Person verwendet, die vermittelnd und koordinierend zwischen Sanierungsverpflichtetem, Behörden, Sanierungsplaner und ausführendem Unternehmen steht.

Idealsituation für EA-Anwendung	Realsituation	s. Abschnitt
EA-Kenntnisse bei Entscheider vorhanden	Weder EA-Kenntnisse vorhanden noch erwerbbar	6.2.
Klar definierter Entscheidungsgegenstand	Entscheidungsgegenstand selber Teil einer vorab zu treffenden Entscheidung	6.4.1.
Personen verfügen bereits über Kriterien oder sind in der Lage diese zu definieren	Personen sind häufig nicht in der Lage eigene Ansichten in verwendbare Kriterien umzusetzen	6.4.2.
Bewertung und Konzepterstellung/-quantifizierung werden von einer Institution vorgenommen	Bewertung und Konzepterstellung/-quantifizierung wird grundsätzlich von verschiedenen Personengruppen durchgeführt. Daraus resultieren Probleme hinsichtlich der Verlässlichkeit der Quantifizierung	6.4.3.
Vorgehensweise der EA akzeptiert / Numerische Bewertung erprobtes Verfahren	Bildung eines Gesamtindikators für die Entscheidung äußerst kontrovers / Präferenzstruktur nicht a-priori vorhanden	6.4.4.
Nutzenerwartungswert für Entscheidungsunterstützung ausreichend	Personen müssen Vorteile der EA-Anwendung explizit erkennen	6.5.
Einstufige Entscheidungen	Teilrekursive Handlungsstrukturen mit komplexen Auswirkungen auf den Informationsstand	7.1.
Ein Entscheider mit klaren Kompetenzen	Viele Beteiligte, Verhandlungslösung	7.2.
Erstellung der Bewertungssysteme mit herkömmlichen EA-Techniken möglich	Stark vereinfachte Erstellung von Bewertungssystemen notwendig	8.1.
Gesamtnutzenerwartungswert als Entscheidungsmaßstab ausreichend	Implikationen müssen stark vereinfacht präsentiert werden	8.2.

Tabelle 7. Vergleich Idealsituation -Realsituation für die Anwendung der EA

Neben der Erstellung und Vermittlung eines Entscheidungsmodells kann der PB noch weitere Aufgaben übernehmen:

- Entscheidungen über die Sanierung von Altlasten sind stets Mehrpersonenentscheidungen. Die gefundene Lösung stellt dabei häufig einen Konsens zwischen den Anforderungen der Genehmigungsbehörden, den Wünschen der Umwelt- und Kommunalbehörden sowie den finanziellen Spielräumen des Sanierungsverpflichteten dar. Die verschiedenen, konfligierenden Interessenlagen der beteiligten Personen müssen bei der Entscheidungsvorbereitung berücksichtigt und der Diskussionsprozeß durch Einigung auf eine gemeinsame Diskussionsbasis geleitet werden.
- Altlastenprobleme sind multidisziplinäre Probleme. Den einzelnen Beteiligten ist es dabei nicht möglich, für alle betroffenen Wissensgebiete ausreichende Kenntnisse zu erwerben, so daß sie selbständig die Angaben der verschiedenen Gutachter in die eigene Entscheidung integrieren könnten. Deshalb obliegt dem PB die Aufgabe, die verschiedenen Gutachter zu koordinieren, deren Angaben in ein integrierendes Modell umzusetzen und dann den Beteiligten anschaulich zu vermitteln.
- Die Sanierung von Altlasten steht häufig im Brennpunkt des öffentlichen Interesses. Daher muß die getroffene Entscheidung besonders sorgfältig vorbereitet und präsentiert werden. Es ist günstig, wenn ein Entscheidungsmodell vorhanden ist, auf dessen Basis die Entscheidung begründet werden kann. Allerdings ist es unabdingbar, die Ergebnisse eines formalen, EA-basierten Modells nachträglich in verbale Beschreibungen der Vor- und Nachteile der einzelnen Sanierungsverfahren umzusetzen. Gegebenenfalls sind nach einer öffentlichen Präsentation und Erörterung des favorisierten Sanierungskonzeptes Änderungen in den Konzepten oder Bewertungsmodellen notwendig.
- Es ist sinnvoll, die Sanierungsanbieter nicht direkt mit den Entscheidern kommunizieren zu lassen. Die Entscheider sollten möglichst unvoreingenommen die verschiedenen Sanierungsangebote / -verfahren bewerten und sich nicht von gelungenen Präsentationen der Sanierungsanbieter beeinflussen lassen. Auch zur Steigerung der Effektivität ist es sinnvoll, die Anbieterangaben erst durch den Projektbegleiter als eine neutrale Person zu filtern und zu vereinheitlichen. Zur strikten Trennung der Entscheider von den Sanierungsanbietern ist es notwendig, eine Schnittstelle zu definieren (Kriterienliste). Diese sollte alle für die Entscheidung relevanten Informationen beinhalten. Es ist dann die Aufgabe des PB in Zusammenarbeit mit den Sanierungsfirmen die notwendigen Informationen für alle Angebote zu ermitteln.
- Gerade bei großen oder komplexen Altlasten ist eine Person notwendig, die die gesamte Bearbeitung von der detaillierten technischen Erkundung bis hin zur Sanierungsentscheidung strukturiert und leitet. Sowohl der Sanierungsverpflichtete, der in den meisten Fällen kein Experte auf dem Altlastengebiet ist, als auch die Umweltbehörden sind mit dieser Aufgabe überfordert. Probleme, die sich bei der Übertragung dieser Aufgaben an den PB ergeben können, werden weiter unten skizziert.

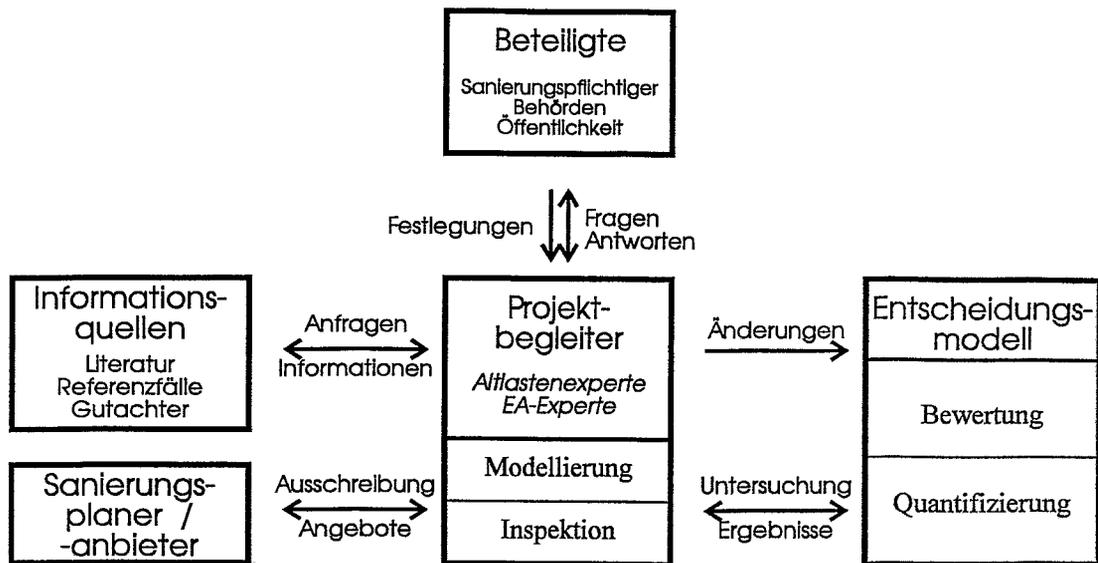


Abbildung 44. Position des Projektbegleiters zwischen Entscheidungsmodell und beteiligten Personen

Die Stellung des Projektbegleiters zwischen Entscheidungsmodell und beteiligten Personen

In Abbildung 44. werden die kommunikativen Verbindungen, wie sie für die Bearbeitung von Altlasten mit einem PB vorgeschlagen werden, dargestellt. Wie schon oben erwähnt, interagieren die beteiligten Personen nicht direkt mit dem Entscheidungsmodell, sondern nur durch die Vermittlung des Projektbegleiters. Diese Trennung ermöglicht es, komplexe Entscheidungsmethodiken, wie sie die EA darstellt, für das Entscheidungsmodell zu verwenden. Eine genauere Beschreibung der Struktur des Entscheidungsmodells findet sich im Abschnitt 4.3. und 3.3.

Dem Projektbegleiter stehen für Änderungen Modellierungshilfsmittel zur Verfügung. Mittels Inspektionshilfsmitteln kann er das Modell untersuchen und Ergebnisse gewinnen. Die Entscheider (Sanierungsverpflichteter, Behörden) treffen zum einen Festlegungen (z.B. Entscheidungsgegenstand, Randbedingungen, Kriterien, Attribute, Abwägungskonstanten) die durch den Projektbegleiter im Bewertungsteil abgebildet werden. Zum anderen können sie Fragen formulieren, die durch den Projektbegleiter mittels der Inspektionstools beantwortet werden. Dabei erfolgt eine Umsetzung der abstrakten Ergebnisse des Entscheidungsmodells in allgemeinverständliche Aussagen. Der Quantifizierungsteil wird durch den PB in Zusammenarbeit mit den Sanierungsanbietern oder dem Sanierungsplaner erstellt (s. 6.4.3.). Die im Zuge von Angeboten oder Planungen generierten Informationen werden in das Quantifizierungsmodell umgesetzt. Es erfolgt eine Ergänzung bzw. Revision auf Grundlage neutraler Informationsquellen.

In den letzten Jahren ist verstärkt der Einsatz von Mediatoren zur Konfliktvermittlung bei umweltrelevanten Planungsproblemen erprobt worden /Fietkau-94/. Ein Vergleich des Aufgabenspektrums des PB mit dem eines Mediators zeigt, daß dem PB generell eine mehr gestaltende Rolle zukommt. Er ist aktiv an der Erstellung personenspezifischer Entscheidungsmodelle, bei der Definition von Sanierungskonzepten und bei der Ableitung von Handlungsempfehlungen beteiligt. Dem Mediator obliegt hingegen lediglich die Aufgabe, den Verhandlungsprozeß zwischen Konfliktparteien zu effektivieren, indem er die Kommunikation zwischen den Beteiligten strukturiert und fördert. Beiden gemeinsam ist die Tatsache, daß sie nicht über Entscheidungskompetenz verfügen.

Qualifikation des Projektbegleiters, Auswahl eines Projektbegleiters

Der Projektbegleiter muß verschiedenen Anforderungen genügen. So sind für ihn einerseits Erfahrungen auf dem Altlastensektor unerlässlich, um die Sanierungsangebote vergleichbar zu machen und die Anbieterangaben kritisch zu hinterfragen. Hierbei ist eine Unterstützung durch einen neutralen Sanierungsplaner denkbar, so daß dann diesbezügliche Ansprüche sinken. Des weiteren muß er über gute EA- und Modellierungskennntnisse verfügen, um ein adäquates Entscheidungsmodell aufbauen und untersuchen zu können. In zentraler Position zwischen allen Beteiligten angesiedelt sollte der Projektbegleiter über eine gute Kommunikationsfähigkeit verfügen. Diese ist auch notwendig, um die relativ abstrakten Ergebnisse der EA-Methodik in verständliche Sachverhalte zu übersetzen und den Beteiligten zu vermitteln.

Zum derzeitigen Zeitpunkt existieren noch keine Firmen, die ein derartiges Leistungsspektrum anbieten können. Daher sind besondere Qualifizierungsmaßnahmen notwendig. Diese müßten sich insbesondere auf die Vermittlung der EA-Methodik konzentrieren und sollten mit modellhaften Sanierungsvorhaben vorbereitet und flankiert werden. Als mögliche Interessenten stehen Ingenieurbüros, die schon heute Sanierungsvorhaben leiten und damit ein erweitertes Aufgabenspektrum bekämen, zur Verfügung. Damit der Projektbegleiter seine Aufgaben effektiv erfüllen kann, müssen sich alle Entscheider über dessen Einsetzung einigen. Da von ihnen ein erhebliches Maß an Vertrauen gegenüber dem Projektbegleiter gefordert ist, kann eine freihändige Vergabe sinnvoll sein.

Anwendungsgrenzen und Probleme des Projektbegleitermodells

Das Projektbegleitermodell ist nur für bestimmte Altlasten sinnvoll. Durch den Projektbegleiter wird eine weitere Planungsebene eingeführt, die finanziert werden muß. Diese erhöhten Aufwendungen, die sich dann in einer gründlicher vorbereiteten Entscheidung bezahlt machen, sind insbesondere bei größeren Projekten gerechtfertigt. Da die Umsetzung von Anbieterangaben in ein Entscheidungsmodell relativ viel Zeit in Anspruch nimmt, können besonders dringende Altlastfälle nicht mit dem vorgestellten Modell bearbeitet werden. Anders wird die Situation, wenn eine kurzfristige Sicherung des Standortes möglich ist und somit Zeit für eine gründlich vorbereitete, dauerhafte Lösung gewonnen wird.

Das Projektbegleitermodell als Lösungsansatz für die Anwendung der EA im Altlastenbereich stößt auf verschiedene Schwierigkeiten:

- Die oben beschriebenen Qualifikationsprobleme sind temporärer Natur und resultieren aus der Tatsache, daß die vorgeschlagene Entscheidungskoordination durch den Projektbegleiter auf der Basis eines EA-Modells noch nicht in der Praxis angewendet wird.
- Dem Projektbegleiter kommt in der Bearbeitung eines Sanierungsfalles eine Schlüsselstellung zu. Solche zentralen Positionen fördern in hohem Maße die Korruptionsanfälligkeit des Systems und werfen die Frage nach einer Kontrolle des Projektbegleiters auf. So besteht einerseits die Gefahr, daß der Projektbegleiter aufgrund externer Personen seine neutrale Position verläßt. Im Extremfall könnte es zur Bestechung des Projektbegleiters durch Sanierungsanbieter kommen. Möglich ist auch, daß einer der beteiligten Entscheider den Versuch unternimmt, den Projektbegleiter von seinen Ansichten zu überzeugen. Viel wahrscheinlicher ist jedoch, daß der Projektbegleiter bei der Revision und kritischen Überprüfung der Sanierungsangebote seine subjektiven Ansichten, Präferenzen und

Kenntnisstände einfließen läßt und so unbewußt zu einer Verzerrung der Bewertung beiträgt. So ist es möglich, daß die Angaben ihm gut bekannter Unternehmen relativ kritiklos übernommen werden, wohingegen neuen Unternehmen grundsätzlich ein Mißtrauen entgegengebracht wird. Eine Anonymisierung der Unternehmen ist infolge des engen Kontaktes zwischen Projektbegleiter und Anbieter nicht möglich.

In jedem Fall ist zu vermeiden, daß der Projektbegleiter aus den zu treffenden Entscheidungen Vorteile ziehen kann. Dieser Fall tritt z.B. auf, wenn der Projektbegleiter bei der weiteren Planung der gewählten Variante beteiligt werden soll. Dann besteht die Gefahr einer Verfälschung der Bewertung hin zu Sanierungskonzepten, wo erhöhte Planungsleistungen zu erbringen sind oder wo die fachlichen Stärken des Projektbegleiters liegen. Dies bedeutet, mit der Entscheidung über das durchzuführende Sanierungskonzept sollte die Zuständigkeit des Projektbegleiters enden.

Die Kontrolle des Projektbegleiters ist ein diffiziles Problem, jedoch nicht allein typisch für das Projektbegleitermodell. Auch bei einer planerischen Vorgehensweise (s. 6.4.3.1.) steht das Problem der Kontrolle des Sanierungsplaners. Das hier vorgeschlagene Projektbegleitermodell zeichnet sich durch das explizite Entscheidungsmodell aus, was neue Kontrollmöglichkeiten eröffnet. Durch die strikte Trennung von Bewertung und Quantifizierung kann ein Einblick in den Quantifizierungsteil gewährt werden, ohne den Bewertungsteil offenzulegen. Dieser Einblick ist für die anbietenden Firmen interessant, die so die Quantifizierung ihres Angebotes nachvollziehen und ggf. Einspruch erheben können. Dieser Vorteil kommt insbesondere bei einer wettbewerbsorientierten Vorgehensweise (s. 6.4.3.2.) zum Tragen. Auch die befragten Gutachter können erkennen, an welchen Stellen ihre Aussagen in das Modell eingeflossen sind. Der Bewertungsteil wird komplett von den Entscheidern erstellt, so daß in diesem Teil kaum Manipulationsmöglichkeiten für den Projektbegleiter existieren.

- Die Aufgabe des neutralen Vermittlers kann der Projektbegleiter nur dann sinnvoll erfüllen, wenn alle beteiligten Personen das Entscheidungsmodell als verbindliche Diskussionsbasis akzeptieren. Insbesondere die Blockierung der Entscheidung durch Vetos kann die abwägende Entscheidung, wie sie angestrebt wird, scheitern lassen. Hilfreich sind in diesem Zusammenhang mögliche Förderquoten für die Altlastensanierung durch staatliche Stellen, da durch sie eine Konsenslösung unterstützt wird.
- Abschließend soll betont werden, daß es nicht Aufgabe des Projektbegleiters sein kann und sollte, die gesamte, fachliche Zuarbeit zu liefern. Seine auf die Entscheidungsvorbereitung ausgerichtete Tätigkeit muß in der arbeitsaufwendigen Quantifizierung durch externe Gutachter, Sanierungsplaner oder Anbieterfirmen unterstützt und kontrolliert werden. Weiterhin darf der Projektbegleiter den relevanten Personen die Entscheidung, d.h. speziell die Erstellung des anzuwendenden Bewertungssystems nicht abnehmen. Neben den entstehenden Manipulationsmöglichkeiten für den PB besteht insbesondere die Gefahr, daß die Entscheider das Bewertungssystem nicht mehr als Darstellung ihres eigenen Verhaltens betrachten. Dadurch verliert das Bewertungssystem und die aus ihm abgeleiteten Implikationen wesentlich an normativer Kraft.

6.2.2. Vorbereitung von Personen auf die Anwendung der EA

Es ist zwar möglich, dem Projektbegleiter ein Großteil der technisch schwierigen Aufgaben bei der Erstellung eines EA-basierten Entscheidungsmodells zu übertragen, trotzdem bleibt es notwendig, den Entscheidern einige Grundsachverhalte zu vermitteln, damit ihre, im Rahmen der EA zu treffenden Aussagen fachlich fundiert sind.

Das erste Problem, mit dem man bei öffentlichen Entscheidungen konfrontiert wird, ist die grundsätzliche Ablehnung des Einsatzes einer entscheidungsunterstützenden Methode. Die Gründe der Ablehnung sind vielfältig und wurden zum großen Teil in den vorangegangenen Ausführungen bereits erwähnt. Daher muß zuerst erläutert werden, warum explizite Entscheidungsmodelle sinnvoll sind, mit welcher Zielstellung sie erstellt werden und wo ihre Grenzen liegen. Insbesondere muß klargestellt werden, daß sie nur zur Entscheidungsvorbereitung nicht zur Abnahme von Verantwortung oder Entmündigung dienen /vgl. Brown-89/.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen müssen die Personen über die zeitliche Abfolge der Bearbeitungsschritte der EA informiert werden. Unterbleibt dies, sind Rückfragen und kritische Anmerkungen zu vermeintlich verfrühten Arbeitsschritten vorprogrammiert. Ganz wichtig ist es auch, die Aufgabenverteilung zwischen den verschiedenen Personengruppen (Entscheider vs. Sanierungsplaner) deutlich zu machen. Insbesondere muß von den Entscheidern akzeptiert werden, daß der Bewertungsteil nicht extern definiert werden darf.

Es muß verdeutlicht werden, daß die Berücksichtigung und Darstellung unsicheren Wissens unabdingbar ist. Auch subjektives Wissen muß berücksichtigt werden. Ebenso ist es notwendig klarzustellen, daß Risikoentscheidungen (vgl. 3.8.) insbesondere bei komplexen Altlastfällen nicht vermieden werden können. Hierzu sind einfache Beispiele hilfreich. In der Regel sind hier nur wenig Akzeptanzprobleme zu erwarten.

Wohl am schwierigsten ist es darzulegen, daß es sinnvoll ist, durch gewichtete Zusammenfassung der Kriterien einen Gesamtindikator zu bilden. Den Erfahrungen nach erscheint es nicht sinnvoll, auf die allgemein bekannten Bilanzierungsansätze durch Monetarisierung aufzubauen, weil die Personen diese simplifizierende Betrachtungsweise häufig ablehnen und dann das weitere Gespräch blockieren. Besser ist es, sie vor einfache, multiattributive Entscheidungsprobleme zu stellen, die die Personen als realistisch wiedererkennen, eine Gesamtnutzenfunktion aus den Antworten zu rekonstruieren und dann erst mit dieser Funktion die Vorzüge des mathematischen Hilfsmittels 'Gesamtnutzenerwartungswert' zu erläutern (s. 6.4.4.).

Von den methodischen Inhalten der EA ist die Bedeutung der folgenden Grundbegriffe zu vermitteln:

Entscheidungsgegenstand, Randbedingungen, Kriterien, Attribute, Alternativen, Quantifizierung, Einflußfaktoren, p-Verteilungen, Lotterien, Erwartungswert, Risikoverhalten, Nutzenfunktionen, Abwägungskonstanten, Gesamtnutzen

Das muß schrittweise und je nach Bedarf erfolgen. Eine einmalige Demonstration ist für Personen ohne Vorkenntnisse nicht erfaßbar.

Generell erscheint die Unterstützung von Einzelentscheidungen im öffentlichen Bereich durch die EA aus jetziger Sicht als äußerst problematisch. Die Anwendung der EA setzt einen Kenntnisstand und ein Übereinkommen über Sachverhalte (Vorgehensweise, Kriterien, Abwägungen) voraus, der im Rahmen eines Projektes nur selten erreicht werden kann. Falls

die EA im öffentlichen Bereich angewendet werden soll, so muß dies stets in einem übergeordneten, methodisch ausgerichteten Kontext geschehen, der sicherstellt, daß Entscheidungsstrukturen über mehrere Fälle hinweg wachsen können und sich die Personen schrittweise das notwendige, methodische Wissen aneignen können.

6.3. Anforderungen an Sanierungsfälle zur EA-Anwendung

Bei dem Einsatz einer entscheidungsunterstützenden Methodik müssen die Einsatzgrenzen beachtet werden:

- Wie bereits in 4.1. erläutert eignen sich die wissensbasierten Ansätze mehr für kleinere Standardaltlasten, wo auf die Erfahrungen vieler Präzedenzfälle zurückgegriffen werden kann und bei denen die Erstellung eines fallspezifischen Entscheidungsmodells unverhältnismäßig aufwendig wäre. Der in dieser Arbeit beschriebene, modellorientierte Ansatz stellt hingegen eine detaillierte Vorbereitung der Sanierungsentscheidung dar. Dieses aufwendige Vorgehen läßt sich nur dann rechtfertigen, wenn der zu erwartende Gewinn durch eine bessere Entscheidung in einem vernünftigen Verhältnis zu dem (finanziellen) Mehraufwand steht. Das dürfte nur bei größeren Altlastfällen (Sanierungsvolumen > 10 MDM) der Fall sein.
- Der untersuchte Anwendungsfall ist eine einfach strukturierte, homogene Altlast. Falls viele, unterschiedlich kontaminierte Teilflächen vorliegen, sind alle Verfahrenskombinationen für die Teilflächen zu bewerten. Deren Anzahl kann sehr groß werden und damit auch der Aufwand zur Quantifizierung. Der andere Ansatz, die Wechselwirkungen eines Verfahrens mit den Verfahren benachbarter Teilflächen in der Entscheidung zu berücksichtigen, ist methodisch sehr kompliziert. Grundsätzlich besteht für komplexe Altlasten noch weiterer Forschungsbedarf.
- Der Bearbeitungsstand des Altlastenfalles muß zumindest soweit fortgeschritten sein, daß verbindliche Aussagen zum Handlungsbedarf getroffen werden können. Falls nicht klar ist, ob überhaupt etwas getan werden muß, z.B. weil noch nicht über die Gefährdung abschließend geurteilt werden kann, so ist die Motivation bei den beteiligten Personen über Entscheidungen nachzudenken, die erst langfristig akut werden, äußerst gering.
- Der Planungsstand darf jedoch auch noch nicht zu weit fortgeschritten sein. Wenn die Personen erst einmal Randbedingungen formuliert haben, ist es sehr schwierig, diese wieder in Frage zu stellen. Vorzeitig aufgestellte, restriktive Randbedingungen verstellen oft den Blick auf originelle, kostengünstige Alternativen. Falls bereits eine bestimmte Sanierungsvariante favorisiert wird, so ist eine unvoreingenommene Bewertung schwierig. Die beteiligten Personen neigen dann dazu, Begründungen für ihr Sanierungskonzept zu generieren, indem sie andere Varianten über Randbedingungen aussortieren oder indem sie alle Aspekte, die gegen ihr bevorzugtes Konzept sprechen, als irrelevant deklarieren.
- Die zu treffende Entscheidung muß zwar einerseits von einer gewissen Dringlichkeit sein, z.B. weil die weitere Stadtentwicklung gehemmt wird, andererseits darf es keine Notfallsituation sein, so daß Sofortentscheidungen zur Gefahrenabwehr zu treffen sind. Die Perspektive, daß in einem Jahr abschließend über die durchzuführende Sanierungsmaßnahme zu entscheiden ist, läßt ausreichend Zeit zur Entscheidungsvorbereitung und ist dennoch ein hinreichender Antrieb für eine zügige Bearbeitung.

- Für die Entscheidung muß ein Handlungsspielraum gegeben sein (z.B. bezüglich der Folgenutzung des sanierten Standortes). Das Umfeld der Altlast sollte weder ein planungsfreier Raum sein, noch sollten die Nutzungsabsichten ein unumstößliches Dogma darstellen (vgl. 6.4.1.). Auch die Finanzierbarkeit von Sanierungsmaßnahmen muß erkennbar sein ("Es ist egal, was Sie an Sanierungskonzepten vorschlagen. Die Stadt hat sowieso kein Geld.").
- Es ist ungünstig, wenn das Sanierungsobjekt bereits in den öffentlichen Schlagzeilen ist ("Tödliches Gift im Stadtzentrum !"). Bei einer Entscheidung unter Druck und ständiger Beobachtung der Öffentlichkeit kann nicht mehr offen diskutiert werden. Hier werden eher politische als rational durchdachte Entscheidungen gefällt. Andererseits darf die Altlast auch nicht so geheim sein, daß eine Kommunikation mit zuständigen Behörden (Bürgermeister) nicht stattfinden kann. Alle potentiell an der Entscheidung beteiligten Personen sollten möglichst schon über Kenntnisse bezüglich des Altlastfalles verfügen.

Fast noch wichtiger als die altlastbezogenen Charakteristika ist das personelle Umfeld einer Sanierungsentscheidung:

- Grundlegend ist die Existenz eines verantwortlichen, ausreichend entscheidungsbefugten Ansprechpartners, der ein Interesse an einer zügigen Bearbeitung und einer gut durchdachten Entscheidung hat. Es darf nicht erwartet werden, daß durch die Anwendung der EA oder durch Einsetzung eines Projektbegleiters die Bearbeitung eines Altlastenfalles forciert wird. Sehr schlecht für die Anwendung der EA sind ständig wechselnde Kompetenzen.
- Sehr wichtig ist auch die Verfügbarkeit von Fachexperten für alle relevanten Sachgebiete der zu treffenden Sanierungsentscheidung. Diese müssen vorab identifiziert und zur Mitarbeit gewonnen werden. Eine nachträgliche Konsultation nach Abschluß der Quantifizierung stößt meistens auf unüberwindbare Akzeptanzprobleme.
- Die EA ist nicht konzipiert für Konkurrenzprobleme. Es dürfen daher keine harten Interessenkonflikte im Spiel sein oder verhärtete Fronten existieren. In einem solchen Fall sind die Mediatorenansätze /Fietkau-94/ geeigneter. Ebenso sollte kein Rechtsstreit über die Sanierung der Altlast laufen, der durch ein "objektives" Entscheidungsgutachten eine Wende zugunsten des Auftraggebers nehmen soll.
- Falls das Entscheidungsmodell als Kommunikationsbasis für die beteiligten Personen genutzt werden soll, so muß gewährleistet sein, daß alle Personen die Vorgehensweise der EA akzeptieren, unterstützen und als verbindlich betrachten. Dies gilt insbesondere für die vorab zu definierenden Randbedingungen und die Kriterien. Falls nach der Vorstellung der Sanierungskonzepte spontan neue Randbedingungen erzeugt werden, die zum Ausschluß von Konzepten führen, war der investierte Aufwand vergebens. An aktuellen Sanierungsfällen sollte getestet werden, ob die Personen eine derartige Beschränkung ihres Handlungsspielraumes akzeptieren.

6.4. Durchführbarkeit der Arbeitsschritte der EA

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die kognitiven und organisatorischen Probleme der Anwendung der EA beleuchtet worden sind, werden in den folgenden vier Abschnitten die technischen Hauptprobleme der EA-Anwendung, die bei dem Anwendungsfall auftraten, zusammen mit Lösungsansätzen präsentiert.

6.4.1. Auswahl des Entscheidungsgegenstandes - Randbedingungen

Die Auswahl des Entscheidungsgegenstandes und der zu fordernden Randbedingungen ist bei Sanierungsentscheidungen geprägt durch das strategische Verhalten der verschiedenen beteiligten Interessengruppen. Dieses hat zur Folge, daß die derzeit übliche Praxis der Sanierungsuntersuchung zu wesentlichen Teilen durch Randbedingungen gesteuert wird. Jede beteiligte Interessengruppe versucht, ihre eigenen Zielsetzungen als Randbedingung zu etablieren und diese aus verhandlungsstrategischen Gründen möglichst restriktiv zu definieren. So wird z.B. die weitere Folgenutzung des sanierten Standortes mit dem Hinweis auf bestehende Planungen festgeschrieben, es werden maximal zulässige Schadstoffemissionen und -konzentrationen definiert, die bedeuten, daß im Abstrombereich Trinkwasserqualität erreicht werden muß, oder es wird starr auf der Einhaltung von Richtlinien beharrt. Aus diesen Randbedingungen folgt dann in der Regel nur noch ein stark eingeschränkter Entscheidungsgegenstand. Viele originelle und kostengünstige Lösungen, die die Randbedingungen verletzen, scheiden vorzeitig aus der Betrachtung aus. Oft stellt sich heraus, daß es kein Konzept gibt, was allen Randbedingungen genügt, so daß diese im nachhinein zurückgenommen werden und der Planungsschritt erneut durchlaufen wird.

Es ist Aufgabe des Projektbegleiters, in Gesprächen mit den Beteiligten darauf hinzuwirken, daß die Handlungsspielräume für die Planung anfangs möglichst weit gefaßt werden. Es sollte angestrebt werden, möglichst viele Randbedingungen als Kriterien mit nichtlinearer Nutzenfunktion zu redefinieren. Die Forderung nach möglichst wenig restriktiven Randbedingungen ist nicht neu /Kalos-93/. Wie mit dem Anwendungsfall gezeigt werden konnte, ergibt sich jedoch durch die EA eine Strukturierung des Bearbeitungsprozesses und eine Flexibilität bei der Bewertung, die es gestattet, diese Forderung auch in die Praxis umzusetzen.

Im folgenden sollen mögliche, durch eingrenzende Randbedingungen definierte Entscheidungsgegenstände für die Altlastensanierung beschrieben und die Sinnhaftigkeit eines EA-Einsatzes für sie untersucht werden.

1. Wahl einer technischen Verfahrensvariante

Falls aufgrund der gestellten Randbedingungen folgt, daß z.B. nur eine Sicherung mit einer Dichtwand denkbar ist, so muß lediglich über die Verfahrensvariante (z.B. Schlitzwand, Stahlspundwand) entschieden werden. Diese Entscheidung kann aufgrund technischer und finanzieller Überlegungen getroffen werden. Hier ist der Entscheidungsspielraum so eng, daß sich der Einsatz der EA nicht lohnt.

2. Wahl eines Verfahrenstyps

Falls der Sanierungsansatz (z.B. Dekontamination) unumstritten ist, so muß noch über den einzusetzenden Verfahrenstyp (on-site biologische Reinigung, off-site thermische Behandlung) entschieden werden. Neben den technischen Daten (z.B. Erreichen der Grenzwerte zur Entsorgung) und den finanziellen Aspekten müssen auch Überlegungen zu den

Auswirkungen der Maßnahme auf das Umfeld (z.B. Emissionen, Dauer der Maßnahme) in die Entscheidung einfließen. Hier könnte bei großen Projekten der Einsatz der EA gerechtfertigt sein.

3. Wahl eines Sanierungsansatzes

Eine Wahlmöglichkeit für den Sanierungsansatz (Beschränkungsmaßnahme, Sicherung, Dekontamination, Umlagerung) bedeutet häufig gleichzeitig, daß die spätere Nutzung der sanierten Fläche (z.B. Sperrfläche, Parkplatz, Gewerbegebiet, Kindergarten) durchaus Verhandlungsgegenstand sein kann. Auch die Nutzung der Nachbarflächen kann in die Entscheidung mit einbezogen sein. Hier kann nicht nur die reine Sanierungsmaßnahme betrachtet werden, sondern es müssen auch die wirtschaftlichen Folgeeffekte bei der Entscheidung berücksichtigt werden. Hier ist das zur Diskussion stehende Finanzvolumen schon für Fälle mittlerer Größe (Sanierungsvolumen > 5 MDM) ausreichend, um den Einsatz der EA zu rechtfertigen.

4. Zusätzlich: Wahl eines Sanierungsangebotes

Eine Vergrößerung des Entscheidungsfeldes für die drei vorgenannten Fälle kann sich ergeben, falls gleichzeitig über die Direktvergabe an Anbieter zu urteilen ist. In diesem Falle müssen auch Aspekte wie Referenzen des Anbieters oder Garantieleistungen in die Entscheidung einfließen. Für sich genommen ("Soll der Firma X oder Y der Zuschlag für den Bau der Schlitzwand erteilt werden?") ist die Entscheidung zu einfach, als daß die EA sinnvoll einsetzbar wäre.

5. Zusätzlich: Vorversuche

Eine interessante Erweiterung des Entscheidungsgegenstandes ist es, wenn nicht nur über das Sanierungskonzept entschieden werden soll, sondern auch Hinweise zu sinnvollen Vorbereitungen (Vorversuche, Detailerkundungen) erwartet werden. In diesem Fall werden die Möglichkeiten der EA auch für mittlere Fälle interessant, da durch den Einsatz der EA die Durchführung von für die Sanierungsentscheidung unnötigen Untersuchungen verringert werden kann.

Zusammenfassend ergibt sich, daß sich der große Aufwand einer EA-Anwendung nur dann rechnet, falls ein relativ großer Entscheidungsspielraum vorhanden ist. Dieser Anforderung steht im Widerspruch zu dem bisher in der Praxis verwendeten Ansatz der Problemlösung durch Reduktion. Daraus ergeben sich Akzeptanzprobleme bei der Umsetzung der EA in die Praxis. Eine Anwendung der EA ist mithin nur realisierbar, falls alle beteiligten Personen bereit sind, in einem gewissen Umfang von der bisherigen Steuerungspraxis (durch Randbedingungen) abzuweichen und zu einer (arbeitsintensiven) durch Kriterien bestimmten Entscheidungsfindung überzugehen. Das dieses möglich und sinnvoll ist, wurde in dem Anwendungsfall demonstriert.

6.4.2. Kriteriensysteme bei öffentlichen Entscheidungen

Die Erstellung von Kriteriensystemen für die EA bei öffentlichen Entscheidungen stößt im Gegensatz zu Anwendungen im privatwirtschaftlichen Bereich auf zahlreiche Schwierigkeiten. Diese wurden in 5.3.2. beschrieben. Das Kernproblem ist, daß die Personen im Zuge der Bearbeitung eines Altlastenfalles nicht in der Lage sind, selbständig Kriterien und Attribute zu definieren, die eine ausreichende Arbeitsgrundlage zur Anwendung der EA darstellen. Ein Lösungsansatz ist der Einsatz eines 'Projektbegleiters' (s. 6.2.1.). An dieser Stelle sollen weitere Vorschläge unterbreitet werden, die insbesondere auf eine Verbesserung der Vorgehensweise bei der Kriterienerstellung abzielen. Durch ihre Umsetzung können verschiedene Probleme, die ansonsten bei der Quantifizierung und der Bildung einer Gesamtnutzenfunktion auftreten, vermieden werden.

1. Gezielte Auswahl der zu befragenden Personen

Wie sich aus den Gesprächen ergeben hat, sind die direkt beteiligten Entscheidungsträger häufig nicht in der Lage, ihre Interessenlage in Kriterien auszudrücken, oder gar EA-konforme Attribute darüber zu definieren. Die Fähigkeit dazu variiert stark mit dem Typus der beteiligten Organisation (Fach- oder Genehmigungsbehörde). Daher muß vorab selektiert werden, welche Personen zur Definition von Kriterien befragt werden. Es bietet sich hier ein mehrstufiges Vorgehen an:

1. Schritt: In einer Sitzung der Altlasten-Arbeitsgruppe werden alle relevanten Zielsetzungen aufgezählt. Dabei ist auf Vollständigkeit zu achten, was bedeutet, daß diesbezügliche Vorschläge aller Beteiligten aufzunehmen sind. Ggf. sind auch relativ abstrakte Ziele ('Optimierung der wirtschaftlichen Folgeeffekte') zu verwenden.
2. Schritt: Für alle Gebiete werden Vertreter der beteiligten Institutionen oder falls nötig externe Stellen benannt, die kompetent sind, Kriterien und Attribute detailliert zu definieren. Dabei können, falls dies sinnvoll erscheint, auch nicht-neutrale Personen (z.B. Sanierungsanbieter) konsultiert werden. Sehr wichtig ist, daß alle relevanten Fachbehörden schon in dieser Phase ein Mitspracherecht bekommen. Wie sich gezeigt hat, können bei einer späteren Einbeziehung (z.B. nach der Quantifizierung) unüberwindbare Schwierigkeiten und Akzeptanzprobleme auftreten⁷⁸. Weiterhin muß darauf geachtet werden, daß die notwendigen Definitionen nicht komplett delegiert werden und somit der primär Entscheidungsbeteiligte von eigenen Festlegungen enthoben wird. Generell sollte die Festlegung getroffen werden, daß jede Person die ihr relevant erscheinenden Kriterien inklusive Attribute und Abwägungen entweder selbständig definiert oder aber kompetente Personen benennt und motiviert.
3. Schritt: Mit den benannten Fachleuten werden Kriterien und Attribute formuliert. Dabei können neben der für den Anwendungsfall verwendeten Vorgehensweise auch Ansätze verwendet werden, die für die Erstellung von Sanierungskonzepten vorgeschlagen wurden (s. 3.3.4., /Keeney-95/).
4. Schritt: Vorstellung, Diskussion und Verabschiedung des sich ergebenden Kriteriensystems auf einer gemeinsamen Sitzung

Diese Vorgehensweise stellt sicher, daß alle Bereiche betrachtet werden und daß lediglich Gespräche mit fachlich zuständigen und kompetenten Personen geführt werden.

⁷⁸ Z.B. wurde das Kriterium 'Flächennutzungstypen' bei der Ermittlung von Abwägungskonstanten von der zuständigen Fachperson strikt abgelehnt. Diese konnte (infolge ihrer späten Berufung) erst nach der Quantifizierung einbezogen werden. Da eine Änderung der Kriterien nach der Quantifizierung nicht mehr durchführbar, konnten ihre Ansichten nicht mehr in die Entscheidung beim betrachteten Anwendungsfall berücksichtigt werden.

2. Rückgriff auf vordefinierte Kriterien

Bei der Kriterienerstellung, während der Quantifizierung und insbesondere bei der Ermittlung der Gesamtnutzenfunktion zeigte sich, daß die Definition und die politische / rechtliche Durchsetzung von Kriterien nicht im Laufe eines Entscheidungsfalles geleistet werden kann. Das bedeutet, es wäre zweckmäßig, auf die Kriterien vorheriger Anwendungsfälle zurückzugreifen, und diese auf Anwendbarkeit für den aktuellen Fall zu überprüfen. Die Pflege und Weiterentwicklung der Kriterien ist eine Aufgabe, die jedoch nicht von dem Sanierungsverantwortlichen übernommen werden kann, da dieser in der Regel nur an wenigen Sanierungsfällen beteiligt ist, sondern obliegt den zuständigen Fachbehörden. Diese Aufgabenteilung ist auch im Hinblick auf den Zuschuß von Fördergeldern naheliegend, die möglichst in konsistenter Weise für die anfallenden Sanierungsprobleme verwendet werden sollten.

Die ausschließliche Verwendung vordefinierter Kriterienkataloge birgt indes verschiedene Gefahren. Jede Altlast ist bis zu einem gewissen Grad ein Einzelfall. Es muß daher geprüft werden, ob alle entscheidungsrelevanten Bereiche wirklich in dem vordefinierten Kriterienkatalog enthalten sind (z.B. ist für den betrachteten Anwendungsfall der weitere Depo-niebetrieb für die Sanierungsentscheidung äußerst wichtig. Die diesbezüglichen, speziellen Kriterien dürften kaum in einem allgemeinen Kriterienkatalog für Sanierungsentscheidungen enthalten sein. Gleiches gilt für die vielfältigen wirtschaftlichen Folgenutzungsmöglichkeiten von sanierten Flächen). Die Benutzung vordefinierter Kriterienkataloge kann dem Entscheider die Kriteriendefinition erleichtern, sie entlastet ihn jedoch nicht von der Verantwortung für das verwendete Bewertungssystem. Bei vordefinierten Kriterienlisten und in noch viel stärkerem Maße bei der Übertragung von Abwägungsparametern aus anderen Sanierungsfällen ist die Gefahr des Mißbrauches und der schematischen, unreflektierten Verwendung sehr hoch.

3. Berücksichtigung der Quantifizierung bei der Kriterienerstellung

Es war der explizite Ansatz, die Personen frei entscheiden zu lassen, welche Informationen sie für die Entscheidung zur Verfügung gestellt haben möchten. Diese Informationen (Kriterienliste) sollten als Schnittstelle zwischen Entscheider und Quantifizierer fungieren. Die Schnittstellenfunktion kann die Kriterienliste jedoch nur dann sinnvoll erfüllen, falls die angeforderten Informationen wirklich im Zuge der Quantifizierung bestimmbar sind. Mit dem verwendeten Kriteriensystem wurden teilweise die Grenzen des wissenschaftlich Aussagbaren überschritten⁷⁹. Die Ermittelbarkeit von Ergebnissen wurde nicht ausreichend beachtet.

Es ist daher notwendig, den Prozeß der Quantifizierung schon während der Kriteriendefinition zu beachten bzw. die Kriterienliste von einem erfahrenen Sanierungsplaner auf Machbarkeit überprüfen zu lassen. Nicht empfohlen werden kann jedoch der Ansatz, von den heute gewöhnlicherweise in Gutachten enthaltenen Informationen auszugehen und auf der Basis dieser Informationen Kriterien zu definieren. Bei dieser Vorgehensweise werden Informationsdefizite nicht aufgedeckt und die Anpassung an Standortspezifika wird verhindert. Besser ist der Ansatz, die idealerweise benötigte Information durch vereinfachte Modelle zu approximieren.

⁷⁹ Zur Quantifizierung des Kriteriums 'Auswirkungen auf das Schutzgut Oberflächenwasser - Konzentration' sind komplizierte Schadstoffeluations- und -ausbreitungsprognosen notwendig. Das langfristige Eluationsverhalten von Deponien in der gesättigten Zone ist jedoch bisher kaum untersucht worden. Hier ist ein großer Forschungsaufwand notwendig, bevor überhaupt fundierte Aussagen getroffen werden können.

4. Probeweises Erstellen von Gesamtnutzenfunktionen bereits bei der Kriteriendefinition

Die Erstellung der Gesamtnutzenfunktion erfolgte im Anwendungsbeispiel erst nach der Quantifizierung. Das Argument dafür war, daß nach der Quantifizierung die Ergebnisspannbreiten bekannt sind und somit überflüssige Fragen außerhalb dieser Spannbreiten vermieden werden können. Diese Vorgehensweise kann nach den gemachten Erfahrungen aus mehreren Gründen nicht mehr empfohlen werden:

- Bei den Abwägungsfragen zeigten sich häufig Defizite bei den Kriterien hinsichtlich Entscheidungsrelevanz (vgl. 3.5) und bei den Attributen bezüglich Wohldefiniertheit (vgl. 3.6, Punkt i.). Diese zu korrigieren war dann nicht mehr möglich.
- Erst bei der Abwägung wurde vielen Personen die Problematik der Durchsetzbarkeit von Kriterien gegenüber den anderen Entscheidungsbeteiligten voll bewußt. Dies führte u.a. dazu, daß einige Kriterien nachträglich als nicht relevant deklariert wurden.
- Auf einigen Kriterien definierten die Personen im Zuge der Abwägung unerwartete Randbedingungen ("Sanierung darf das Land nicht mehr als etwa 45 MDM kosten."). Für reale Fälle ist das Auftreten neuer Randbedingungen nach der Quantifizierung nicht akzeptabel. Deshalb muß der von den Personen akzeptierte Ergebnisbereich schon vorab festgelegt werden. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, daß von den Personen keine verhandlungsstrategischen Randbedingungen angegeben werden (s. 6.4.1.).
- Manchmal deckte erst die Abwägung auf, daß die Personen über keine ausreichenden Anhaltspunkte verfügen und deshalb weitere Fachabteilungen konsultiert werden müssen.

Deshalb sollte in jedem Fall nach der Definition eines Kriteriums neben der Quantifizierbarkeit (s.o.) die Abwägbarkeit überprüft werden. Dabei können einfache Entscheidungsprobleme, wie sie in 6.4.4. vorgeschlagen werden, Verwendung finden.

5. Vorstellbarkeit von Kriterienergebnissen zur Erfassung des Risikoverhaltens sicherstellen

In einigen Fällen ging bei der Definition von quantitativen Attributen die Vorstellbarkeit von Ergebnissen verloren. So wurde z.B. mit dem Kriterium 'Flächennutzungstypen' bilanziert, wie sich die (ökologische) Flächennutzung aller betroffenen Flächen durch die Sanierung verändert. Das Ergebnis dieser Bilanzierung, ein Punktwert, konnte nicht mehr mit Ergebniszuständen assoziiert werden. Das hatte zur Folge, daß auch keine vorstellbaren Referenzzustände zur Definition einer Nutzenfunktion vorhanden waren, es mußte eine lineare Präferenz angesetzt werden. Hier wäre die Präsentation einer einfachen Risikoentscheidung zur Kontrolle im voraus hilfreich gewesen.

Insgesamt kann die Erstellung von Kriterien, die den Ansprüchen der EA genügen und die seitens der Entscheider als verbindliche Entscheidungsbasis betrachtet werden, als der wichtigste Schlüsselpunkt bzgl. der Anwendbarkeit der EA betrachtet werden. Sowohl eine Verfeinerung der Techniken zur Ermittlung von Kriterien in Zusammenarbeit mit den an einer Altlastensanierung beteiligten Personen als auch grundsätzliche, methodische Untersuchungen in vielen Bereichen sind erforderlich. Als Beispiele seien hier die Bewertung zeitlicher Ergebnisstrukturen, die ethische und rechtliche Grundlage von Kriterien und die Verwendung von Ansätzen, die auf der Bewertung von Szenarien mit Kriterien als Indikatoren basieren, genannt.

6.4.3. Erstellung und Quantifizierung von Sanierungskonzepten

Im Altlastensektor ist es im Gegensatz zu privatwirtschaftlichen Entscheidungen für die beteiligten Entscheider problematisch, zu verlässlichen, quantifizierten Sanierungskonzepten zu gelangen. In privatwirtschaftlichen wie auch in den meisten anderen Anwendungsbereichen der EA liegt die Entscheidung und die Erstellung von Handlungsalternativen in einer Hand. Vielfach stehen dazu firmeneigene Experten zur Verfügung, die unabhängig von eigenen Interessen Handlungsalternativen projektieren und bewerten. Im Altlastensektor ist die Situation komplizierter. Die beteiligten Entscheider sind häufig keine Experten auf dem Altlastengebiet, so daß sie die Aufgabe der Erstellung von Sanierungskonzepten an externe Firmen vergeben müssen. Daraus ergibt sich die Frage nach der Neutralität und der Qualifikation dieser Firmen. Das Problem wird dadurch verschärft, daß die Anbieter von Sanierungsverfahren die genauesten Kenntnisse über ihre Verfahren haben. Diese sind jedoch mehr an der Akquisition von Aufträgen als an der Verbreitung von neutralen und detaillierten Informationen über ihre Verfahren interessiert.

In den nächsten Abschnitten werden zwei Vorgehensweisen zur Erstellung von Sanierungskonzepten vorgestellt und diskutiert. Die erste, planerische beschreibt weitgehend die heute übliche Praxis. Die zweite zielt darauf ab, durch Nutzung des Wettbewerbes zwischen den Sanierungsanbietern/-planern bessere Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen. Die Auseinandersetzung mit Verfahren zur Erstellung von Sanierungskonzepten ist für die Beurteilung der Anwendbarkeit der EA durchaus von Relevanz. Die aktuelle verwendete, planerische Vorgehensweise ist auf die Steuerung der Entscheidung durch Randbedingungen ausgerichtet. Im Extremfall ist sie deshalb mit dem Ablaufschema der EA nicht kompatibel. Eine Analyse ihrer Vor- und Nachteile im Vergleich zu einer EA-kompatiblen (wettbewerbsorientierten) Vorgehensweise läßt somit Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit der EA zu.

6.4.3.1. Planerische Vorgehensweise zur Erstellung von Sanierungskonzepten

Im folgenden soll der derzeit übliche Verfahrensverlauf bei der Erstellung von Sanierungskonzepten beschrieben und die sich daraus ergebenden Probleme erläutert werden (s. Abb. 45.).

Nach der detaillierten technischen Erkundung werden im Falle eines Sanierungsbedarfes von den Entscheidern Randbedingungen aufgestellt. Dieses beinhalten i.d.R. die geplante Folgenutzung der sanierten Fläche. Dann wird ein Ingenieurbüro (Sanierungsplaner) mit der Sanierungsuntersuchung beauftragt. Die Aufgabenstellung besteht darin, das kostengünstigste Konzept zu finden, das mit den Randbedingungen kompatibel ist. Der Sanierungsplaner untersucht daraufhin verschiedene Sanierungsverfahren bezüglich dieser Anforderungen und schlägt eines davon zur Durchführung vor. Werden die vergleichende Untersuchung und das empfohlene Konzept von den Entscheidern akzeptiert, so folgt für den Sanierungsplaner der Auftrag zur Detailplanung dieses Konzeptes. Abschließend werden die notwendigen, genau spezifizierten Leistungen beschränkt ausgeschrieben. Auf der Basis der eingehenden Angebote wird das kostengünstigste ausgewählt.

Diese Vorgehensweise, die im folgenden mit 'planerische Vorgehensweise' bezeichnet wird, weist eine Reihe von Nachteilen auf:

- Um eine umfassende Vorauswahl und einen Vergleich von Sanierungsverfahren durchführen zu können, muß die planende Firma detaillierte, aktuelle Kenntnisse über sämtliche auf dem Markt verfügbaren bzw. sich im Probestadium befindlichen Sanierungstechnologien haben. Dieses Wissen beinhaltet Informationen zu Anwendungsgrenzen, Verfahrenseigenschaften, Preisen und Verfügbarkeit der Verfahren. Aufgrund der Dynamik auf dem Altlastensektor könnten dieser Anforderung nur spezialisierte Unternehmen genügen, die es jedoch in dieser Form nicht gibt. Von dem Sanierungsplaner werden daher in der Regel nur die ihm bekannten Verfahren betrachtet.

Das hat zur Folge, daß nur eine begrenzte Anzahl gut bekannter und etablierter Verfahren Berücksichtigung finden. Insbesondere neue, innovative Verfahren werden dabei häufig vorzeitig aus der Betrachtung ausgeschlossen bzw. werden aus Unkenntnis überhaupt nicht in Erwägung gezogen.

Um die Informationsprobleme der planerischen Vorgehensweise zu beheben, wurden wissensbasierte Hilfsmittel entwickelt (s. 4.1.), die mit Hilfe einer Datenbasis vorhandene Informationsdefizite auszugleichen versuchen. Es zeigt sich, daß diese das Informationsproblem lediglich verlagern, nicht jedoch lösen. In letzter Zeit wurde vorgeschlagen, die Informationsprobleme durch eine erweiterte Einbeziehung von Sanierungsanbietern im Zuge von Voranfragen zu lösen /Neteler-95/. Die im Zuge von Voranfragen gewonnenen Informationen sind dabei mit einer internen Wissensbasis abzugleichen, um so zu einer glaubwürdigen und praxisnahen Bewertung verschiedener Sanierungsverfahren zu gelangen. Inwieweit dieser Ansatz sich in der Praxis realisieren läßt, bleibt abzuwarten. Die Erfahrungen aus dem Anwendungsfall lassen jedoch darauf schließen, daß die Sanierungsfirmen bei Voranfragen entweder wegen der Befürchtung von Wettbewerbsnachteilen äußerst zurückhaltend reagieren oder aber Informationen zurückliefern, die vom Ziel der Auftragsakquisition geprägt sind.

- Mit der oben angeführten Aufgabenstellung (Ermittlung des kostengünstigsten Verfahrens unter Beachtung der Randbedingungen) muß der Sanierungsplaner die Entscheidung bis zur Empfehlung eines Sanierungsverfahrens vorbereiten. Somit erfolgt keine strikte Trennung von Quantifizierung und Bewertung der Sanierungsverfahren. Der Planer trifft methodische Festlegungen und übernimmt Entscheidungsaufgaben, die eigentlich von den Entscheidern geleistet werden müßten. Diese Tatsache fördert zum einen in hohem Maße die Korruptionsanfälligkeit des Systems. Zum anderen führt sie dazu, daß keine standardisierte Methodik benutzt wird, so daß einmal getroffene Entscheidungen nicht für andere

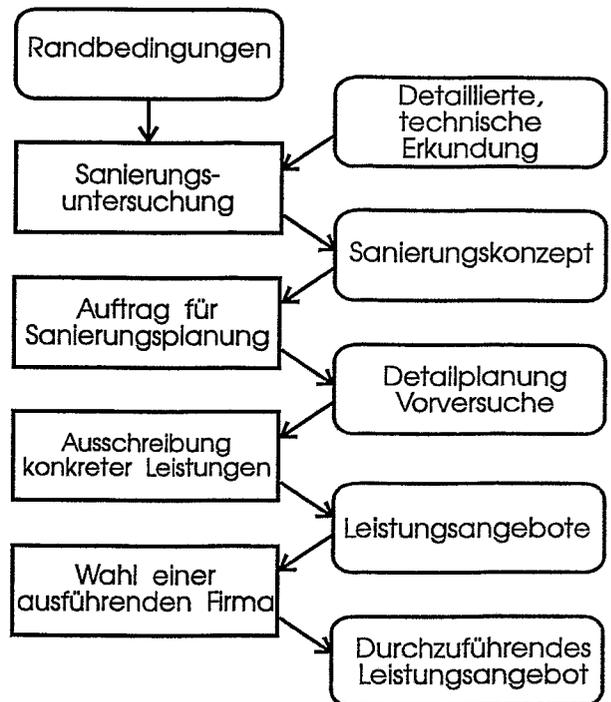


Abbildung 45. Planerische Vorgehensweise zur Erstellung von Sanierungskonzepten

Sanierungsfälle wiederverwendet und nur schwierig von Außenstehenden nachvollzogen werden können.

- Da der Sanierungsplaner nur abstrakte Verfahren und keine Angebote vergleicht, wird der Wettbewerb der Sanierungsanbieter in dieser Phase nicht genutzt und in der späteren Ausschreibungsphase aufgrund der sehr restriktiven Ausschreibung stark eingeschränkt. Dies hat zur Folge, daß das in den Sanierungsfirmen vorhandene, interne Know-how über ihre Verfahren und deren Anwendungsbereiche nicht genutzt werden kann. Eine externe Kostenschätzung ist zudem aufgrund der Wettbewerbssituation auf dem Altlastensektor sehr schwierig und die Ergebnisse dürfen nur als grobe Approximation verstanden werden.
- Die Aufgabenstellung für den Sanierungsplaner verlangt eine möglichst präzise Festlegung der Randbedingungen. Gerade die häufig schwierig zu treffenden, strategischen Entscheidungen über die zukünftige Nutzung der sanierten Fläche (Randbedingung!) sind dabei zweckmäßigerweise als erstes zu treffen, d.h. zu einem Zeitpunkt, wenn das Wissen über die Sanierungsverfahren minimal ist. Dies führt frühzeitig zu einer Einengung des Entscheidungsspielraumes, der sich in erhöhten Kosten widerspiegeln kann, sowie zu der Gefahr von Planungsschleifen.

6.4.3.2. Wettbewerbsorientierte Vorgehensweise

Die planerische Vorgehensweise hat, wie oben beschrieben, verschiedene Nachteile, die durch eine wettbewerbsorientiertere Vorgehensweise (s. Abb. 46.) vermieden werden können. Der im folgenden beschriebene Ansatz stellt dabei ein Extrem dar. Mischformen mit der 'planerischen Vorgehensweise' sind denkbar.

Nach der detaillierten technischen Erkundung wird zuerst ein Projektbegleiter (s. 6.2.1.) ausgewählt. Seine Aufgabe ist es, den Prozeß der Erstellung von Sanierungskonzepten zu koordinieren und die Ergebnisse den beteiligten Entscheidern in einer übersichtlichen Form zu präsentieren. Zuerst erstellt er eine Kurzcharakterisierung des Sanierungsfalles, die alle zur Aufstellung von Sanierungskonzepten notwendigen Daten beinhaltet, und legt in Zusammenarbeit mit den Sanierungsbeteiligten fest, welche Randbedingungen an die Sanierungskonzepte gestellt werden und nach welchen Kriterien die Konzepte zu bewerten sind. Dies beinhaltet insbesondere eine Beschreibung alternativer Folgenutzungen des sanierten Standortes sowie eine Darstellung des Sanierungsumfeldes.

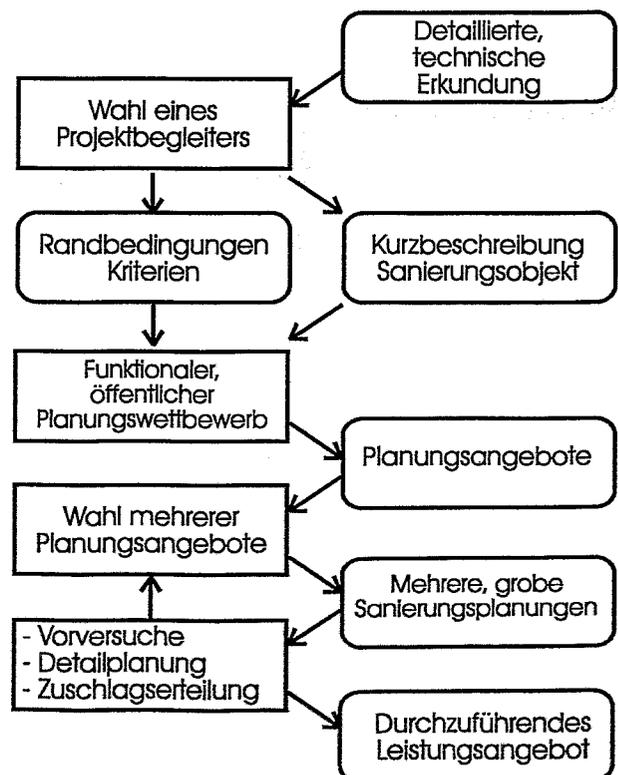


Abbildung 46. Wettbewerbsorientierte Vorgehensweise

Anschließend wird ein funktionaler, öffentlicher Planungswettbewerb "Sanierung des beschriebenen Altlastenfalles unter Beachtung der definierten Randbedingungen" ausgeschrieben. Die Firmen werden damit aufgefordert, Vorschläge für Sanierungsansätze zu unterbreiten. An einer solchen Ausschreibung können sich sowohl Planungsunternehmen, unter Angabe der Sanierungsfirmen, die zur Durchführung des Konzeptes eingeplant sind, als auch Bietergemeinschaften von Sanierungsfirmen evtl. unter Koordination einer Planungsfirma beteiligen. Abgefragt werden neben einer verfahrenstechnischen Beschreibung des Sanierungskonzeptes, eine grobe Kostenschätzung und ein Firmenprofil.

Von den eingehenden Sanierungskonzepten sind durch die Entscheider die attraktivsten auszuwählen und Planungsaufträge zu erteilen. Diese sollen nicht den Detaillierungsgrad einer Sanierungsplanung haben, sondern lediglich die Eingangsgrößen für die weitere Entscheidung bereitstellen. Das bedeutet im Rahmen der EA, daß insbesondere die Kriterien zu quantifizieren sind. Wichtig ist, daß die Informationsquellen der Quantifizierung offengelegt werden und möglichst durch Anbieterangaben zu untersetzen sind. Diese Informationen sind vertraulich zu behandeln. Basierend auf den vorliegenden Grobplanungen kann im Rahmen der EA über Vorversuche, die Erstellung weiterer Grobplanungen, die Vergabe des Auftrages zur Feinplanung bis hin zur Zuschlagserteilung für die Sanierung entschieden werden.

Aus der vorgeschlagenen, wettbewerbsorientierten Vorgehensweise ergeben sich eine Reihe von Vorteilen, die insbesondere aus der funktionalen Ausschreibung resultieren:

- Durch die Ausschreibung wird firmeninternes Know-how der Anbieterfirmen für die Entscheidung verfügbar gemacht. Dadurch gestaltet sich die Entscheidung praxisnäher, weil die Anbieterangaben stets den neuesten Stand der verfügbaren Informationen repräsentieren. Für den Projektbegleiter ist es eine Möglichkeit, sein Wissen zu aktualisieren.
- Die Liste der untersuchten Sanierungsverfahren wird vollständiger, da alle Anbieter (auch neue, mit unerprobten und innovativen Verfahren) teilnehmen können. Daraus resultiert ein verstärkter Wettbewerb. Gerade die Vollständigkeit ist auch ein wichtiger Aspekt für den Sanierungsverantwortlichen, der unter dem Zwang der Entscheidungsbegründung steht und dadurch die Gewißheit erhält, alle möglichen bzw. verfügbaren Verfahren berücksichtigt zu haben.
- Da infolge der öffentlichen Ausschreibung alle Firmen einzubeziehen sind und nur begründet ausgeschlossen werden können, existieren für den Projektbegleiter weniger Unterschlagungs- und Manipulationsmöglichkeiten.
- Die funktionale Ausschreibung reduziert den Wettbewerb nicht auf die Angabe der Kosten, sondern sie eröffnet den Firmen die Möglichkeit zur Präsentation des eigenen Wissens. Kreative und engagierte Anbieter haben vielfältige Möglichkeiten zur Optimierung ihrer Angebote. So können durch Einbeziehung lokaler Randbedingungen (z.B. die kommunale Wasserreinigung) die Angebote optimiert werden. Es können flexible Angebote mit Varianten abgegeben werden, die von den Entscheidern selbständig optimiert werden können. Die Angabe von Grundpreisen in Verbindung mit Aufschlägen für weitergehende Leistungen, die infolge bisher unerkannter Randbedingungen notwendig werden, ist möglich. Gerade dadurch können die Sicherheitsspannen auf der Angebotsseite reduziert werden. Weiterhin können eigene Vorschläge zu sinnvollen Vorversuchen und spezifischen Gutachten eingebracht werden. In Verbindung mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen können riskante aber erfolgversprechende Angebote vorgeschlagen werden. Diese Möglichkeit ist insbesondere für neue und unerprobte Verfahren sehr hilfreich.

- Die wettbewerbsorientierte Vorgehensweise eignet sich im Vergleich zur planerischen Vorgehensweise besser, die spätere Nutzung des sanierten Standortes in die Sanierungsentscheidung einzubeziehen. Gerade der Vergleich einer preiswerten Sanierungstechnologie in Verbindung mit einer niederwertigen Nutzung zu einer kostenintensiven, mit höherwertigen Nutzungsmöglichkeiten ist für die Verhältnismäßigkeit einer Sanierung von großem Interesse.

Die Nachteile der wettbewerbsorientierten Vorgehensweise sind größtenteils durch die Variabilität der zu verarbeitenden Informationen bedingt. Für jede Altlast ist zuerst eine neue Ausschreibung zu erarbeiten. Standardisierte Ausschreibungen, wie sie für Bauleistungen existieren, sind nicht verwendbar. Daher ist der Aufwand bei der Problemdefinition und der Festlegung von Sanierungszielen höher als bei der konventionellen Vorgehensweise. Eine erhöhte Flexibilität aller Beteiligten ist hierbei vonnöten. Auch der Abgleich und Vergleich der Angebote ist relativ arbeitsaufwendig. Zur Durchführung der Arbeiten und zur Koordination der Ausschreibung ist mit dem Projektbegleiter eine weitere Planungsebene notwendig, die erhöhte Kosten verursacht.

Aufgrund der öffentlichen Ausschreibung existieren weniger Möglichkeiten zum Schutz sensibler Daten. Auch die Verpflichtung der Sanierungsfirmen, die gegebenen Standortdaten vertraulich und nur zum Zwecke der Angebotsabgabe zu verwenden, dürfte eine Verbreitung nicht verhindern. Als Ausweg für besonders kritische Fälle bietet sich an, anstelle einer öffentlichen eine beschränkte Ausschreibung vorzunehmen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die wettbewerbsorientierte Vorgehensweise sich gegenüber der planerischen Vorgehensweise durch folgende Punkte unterscheidet:

- Es wird ein funktionaler, öffentlicher Planungswettbewerb durchgeführt. Die spätere Folgenutzung kann Teil des Planungsangebotes sein, ebenso wie konkrete Angebote zur Durchführung. In diesem Fall sind Verfahrens- und Angebotsauswahl in einem Entscheidungsschritt zusammengefaßt. Es werden mehrere Grobplanungen vorgenommen, deren Aussagen durch Vorversuche validiert und präzisiert werden können. Die wettbewerbsorientierte Vorgehensweise ist gut mit einer EA-basierten Entscheidungsunterstützung kombinierbar. Die wettbewerbsorientierte Vorgehensweise ist in der Lage, die für die Quantifizierung benötigten Informationen zu liefern. Die EA kann die mannigfaltigen Informationen, die aus einer funktionalen Ausschreibung resultieren können, berücksichtigen.
- Demgegenüber wird bei der planerischen Vorgehensweise nur eine Sanierungsplanung durchgeführt. Das in der Detailplanung spezifiziertere Sanierungskonzept wird, falls in Vorversuchen die Eignung nachgewiesen werden konnte, durch eine konkrete, beschränkte Ausschreibung von Sanierungsmaßnahmen mit definierter Folgenutzung ausgeschrieben. Verfahrensauswahl und Angebotsauswahl werden getrennt vorgenommen. In ihrer Extremform ist die randbedingungsgesteuerte, planerische Vorgehensweise nicht mit der EA kompatibel. Es werden weder die notwendigen Planungsspielräume eingeräumt, noch wird eine Grundbedingung der EA, die Betrachtung mehrerer Handlungsoptionen erfüllt.

6.4.4. Behandlung multiattributiver Probleme

Die Behandlung multiattributiver Probleme bei öffentlichen Entscheidungen ist gegenüber idealen Entscheidungssituationen durch drei Probleme charakterisiert:

- Die beteiligten Personen verfügen über kein fachliches Vorwissen hinsichtlich der EA-Methodik. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, zusammen mit der Erstellung der Gesamtnutzenfunktion die Grundtechniken der EA zu vermitteln.
- Es kann nicht davon ausgegangen werden, daß die beteiligten Personen Abwägungen von Kriterien gegeneinander akzeptieren. Da die dafür notwendigen, expliziten Festlegungen unangenehm sind, werden die Personen vielmehr versuchen, diese so weit wie möglich zu vermeiden. Die Aversion gegen explizite Festlegungen resultiert teilweise auch aus der Angst der befragten Personen vor den rechtlichen Auswirkungen ihrer Entscheidungen bzw. vor der Überschreitung des eigenen Kompetenzbereiches.
- Häufig muß festgestellt werden, daß die beteiligten Personen a-priori über keine quantitative Präferenzstruktur bezüglich der Ergebnisse auf einzelnen Kriterien oder multiattributiver Ergebnisse verfügen.

Damit ergeben sich insgesamt vier Ziele, die bei der Erstellung von Gesamtnutzenfunktionen verfolgt werden müssen:

1. Präferenzstrukturen herausbilden
2. Methodisches Wissen vermitteln
3. Akzeptanz gewinnen
4. Gesamtnutzenfunktion aufbauen

Die im folgenden beschriebene, indirekte Vorgehensweise zur Ermittlung der Gesamtnutzenfunktion versucht, diesen Anforderungen Rechnung zu tragen. Sie wurde an einer Person exemplarisch getestet, die sich geweigert hatte, ein formales Entscheidungsschema mit Hilfe der üblichen EA-Techniken zu ermitteln. Das primäre Ziel war, dem Entscheider zu verdeutlichen, daß das Bewertungssystem auf seinen Aussagen aufgebaut wird und diese korrekt wiedergibt. Erst wenn dieser mit der Methodik vertraut, ist es möglich, kompliziertere Modellimplikationen, wie Trade-off-Raten und Risikoverhalten explizit zu behandeln und die dazugehörigen Modellelemente (Abwägungskonstanten, Nutzenfunktionen) feiner abzustimmen.

Zuerst wurden mehrere Entscheidungsprobleme, basierend auf zwei, für den Entscheider relevanten Kriterien, präsentiert (s. Tabelle 8.) und jeweils Entscheidungen gefordert, ohne diese jedoch zwecks Bildung einer Gesamtnutzenfunktion zu variieren. Die graphische Darstellung der vier präsentierten Entscheidungsprobleme zeigt Abbildung 47. Mit Hilfe dieser Testentscheidungen sollte sich die Person mit der Problemstellung vertraut machen und Präferenzstrukturen auf den Einzelkriterien entwickeln. Gleichzeitig wurden wichtige Informationen für die Erstellung der Gesamtnutzenfunktion ermittelt. Dabei handelte es sich zum einen um die akzeptablen Ergebnisbereiche, d.h. um die Festlegung von Randbedingungen, zum anderen konnte aus den Aussagen der Person die qualitative Form der Nutzenfunktion über die Fixkosten K und die Schadstoffkonzentration c ermittelt werden. Keine Fragen wurden zur Form der Gesamtnutzenfunktion gestellt. Wie schon in 5.3.4.1. erläutert, setzt die Beantwortung diesbezüglicher Fragen umfangreiche Kenntnisse hinsichtlich der EA und insbesondere Akzeptanz schon voraus.

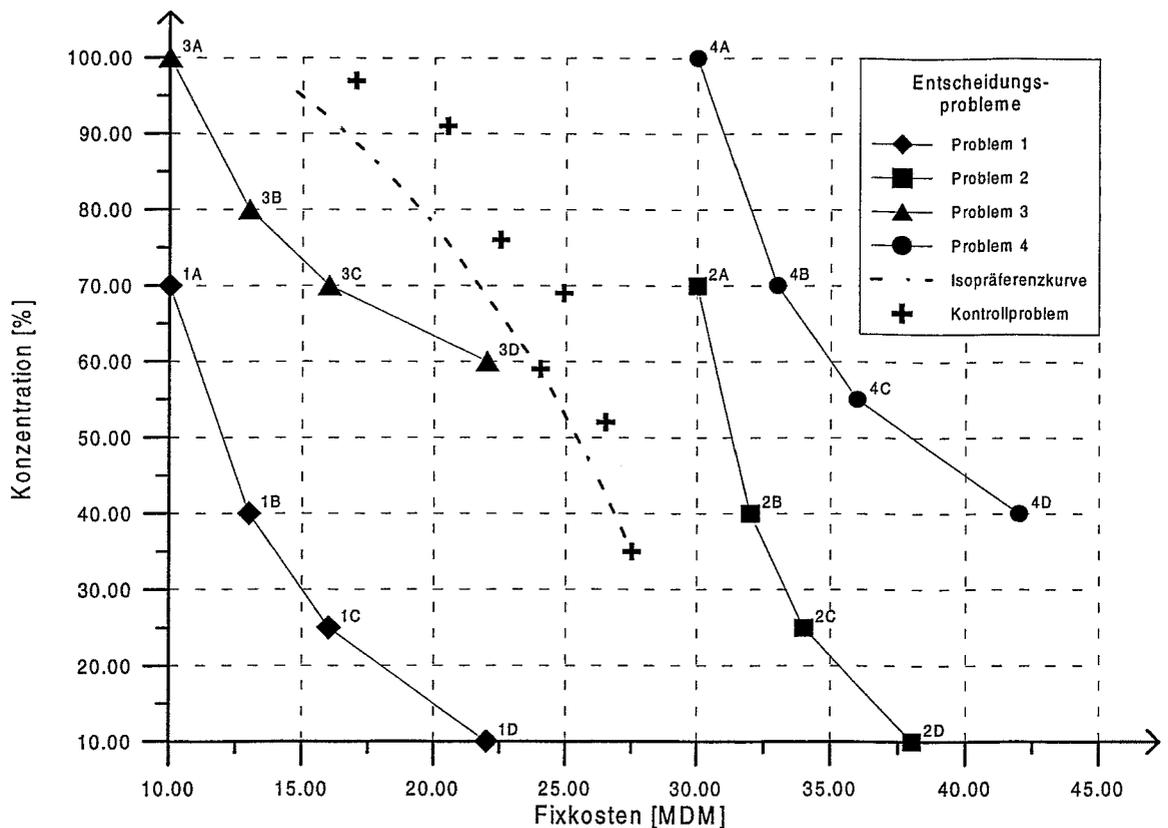


Abbildung 47. Graphische Darstellung der präsentierten Entscheidungsprobleme und eine vor dem Kontrollproblem berechnete Isopräferenzlinie

Konzept	Fixkosten	c	Entscheidung
1A	10 MDM	70 %	-
1B	13 MDM	40 %	(+)
1C	16 MDM	25 %	+
1D	22 MDM	10 %	-

Konzept	Fixkosten	c	Entscheidung
3A	10 MDM	100%	-
3B	13 MDM	80%	+
3C	16 MDM	70%	(+)
3D	22 MDM	60%	-

Konzept	Fixkosten	c	Entscheidung
2A	30 MDM	70%	-
2B	32 MDM	40%	+
2C	34 MDM	25%	-
2D	38 MDM	10%	-

Konzept	Fixkosten	c	Entscheidung
4A	30 MDM	100%	-
4B	33 MDM	70%	+
4C	36 MDM	55%	-
4D	42 MDM	40%	-

c Schadstoffkonzentration im Oberflächenwasser gemessen in Prozent des Maßnahmewertes MNW (Def. s. Fn. 57). Da über den Maßnahmewert und den Prüfwert eine Vergleichsbasis für verschiedene Schadstoffe geschaffen wird, sollte die Art des Schadstoffes für die Entscheidung irrelevant sein.

- Nach Aussage des Entscheiders nicht empfehlenswert
- + Nach Aussage des Entscheiders empfehlenswert
- (+) Nach Aussage des Entscheiders noch empfehlenswert

Tabelle 8. Präsentierte Entscheidungsprobleme zur indirekten Ermittlung der Gesamtnutzenfunktion

Als Arbeitshypothese wurde angenommen, daß sich die Präferenzstruktur des Befragten durch eine additive Zusammenfassung von Nutzenfunktion darstellen läßt (s. Tab. 6 in 5.3.4.3.) und daß sich die eindimensionalen Nutzenfunktionen durch Exponentialfunktionen⁷¹ (s. 3.8. sowie 5.3.4.2.) annähern lassen⁷²:

$$u_{ges} = \dots - 1 \cdot \frac{e^{\alpha K} - 1}{\alpha} + k_c \cdot \frac{e^{\beta c} - 1}{\beta} + \dots$$

Aus den Antworten für die präsentierten Probleme konnten die lokalen Steigungen der Isopräferenz-Kurven, die den Trade-off-Raten entsprechen, näherungsweise bestimmt werden. Durch alle als optimal bezeichneten Punkte (1C, 2B, 3B, 4B) wurde jeweils eine Gerade $c = a \cdot K + b$ konstruiert, die die Verbindungsgeraden zu den Nachbarpunkten nicht schneidet. Die Steigungen der Geraden entsprechen (näherungsweise) den lokalen Trade-off-Rate: $t = \frac{\partial c}{\partial K} \Big|_{u_{ges} = const}$ an den optimalen Punkten. Mittels der analytischen Formel für die Trade-off-Rate: $t(K, c) = -e^{\alpha K} / k_c e^{\beta c}$ ergeben sich somit mehrere, nichtlineare Beziehungen für die freien Parameter α , β und k_c , aus denen mittels des Levenberg-Marquardt-Algorithmus aus /Press-92/ diese bestimmt wurden. Zur Verifizierung dieser Nutzenfunktion wurde ein Kontrollproblem konstruiert (s. Abb. 47.) und die Parameter anhand der Aussagen zum Kontrollproblem verifiziert. Letzendlich ergab sich:

$$u_{ges} = \dots - 1 \cdot \frac{e^{0.02 \cdot K} - 1}{0.02} - 0.13 \cdot \frac{e^{0.01 \cdot c} - 1}{0.01} + \dots \quad (7)$$

Eine Isopräferenzkurve für diese Nutzenfunktion ist in Abb. 47. eingetragen. Die soeben beschriebene Vorgehensweise hätte zur Bestimmung der anderen Terme der Gesamtnutzenfunktion für die anderen Kriterien analog wiederholt werden können, was in diesem speziellen Fall nicht notwendig war. Die befragte Person war (im Rahmen der vorgegebenen Kriterienliste) lediglich für die zwei abgearbeiteten Kriterien kompetent. Die Tatsache, daß die im Rahmen dieses Verfahrens ermittelte Nutzenfunktion über die Fixkosten mit der aus den Risikoentscheidungen (vgl. Tab. 6.) bestimmten identisch war, ist als ein glücklicher Umstand zu betrachten und erleichterte die Kombination der Ergebnisse. Im allgemeinen wird ein iterativer Abgleich notwendig werden (s. a. 8.1.).

Abschließend wurde dieses Ergebnis (Formel 7) der betreffenden Person präsentiert und aufgezeigt, daß mit dieser Gesamtnutzenfunktion ihre Entscheidungen korrekt wiedergegeben werden. Weiterhin erfolgte eine Erläuterung der Notwendigkeit formaler Modelle und der geplanten Kombination der aufgestellten Gesamtnutzenfunktion mit der anderer Personen (z.B. den Wirtschaftsfachleuten).

Entgegen der ursprünglichen Ablehnung formaler Modelle akzeptierte die Person diese Gesamtnutzenfunktion und die Einpassung in das Gesamtbewertungssystem und begrüßte explizit, daß die Vorgehensweise die Aufteilung der Entscheidung ermöglicht und Manipulationen erschwert. Als besonders wichtig wurde die dadurch mögliche Unterstützung der

⁷¹ Diese Form wurde nicht zuletzt wegen der einfachen Bestimmbarkeit der Parameter gewählt. Falls andere Formen Verwendung finden sollen, sind computertechnische Hilfsmittel, wie sie in 8.1. beschrieben werden, unverzichtbar.

⁷² Das beschriebene Verfahren ist auch für die multiplikative und die multilineare Form verwendbar. In diesen beiden Fällen sind jedoch mehr Entscheidungsprobleme zur Ermittlung der Gesamtnutzenfunktion auszuwerten. Im betrachteten Anwendungsfall konnte mit dem additiven Ansatz das Entscheidungsverhalten gut reproduziert werden, so daß die Arbeitshypothese gerechtfertigt war.

Konsensfindung bezeichnet. Kritisch angemerkt wurde jedoch die Gefahr, daß die erstellten, formalen Bewertungssysteme bedenkenlos für andere Entscheidungsprobleme mißbraucht werden könnten. Es muß klargestellt werden, daß die beschriebene Vorgehensweise nicht dazu dient, allgemeingültige Bewertungen aufzustellen, sondern für jedes Entscheidungsproblem muß erneut ein Test auf Validität und eine Anpassung an die Einzelfallspezifik erfolgen. Im Prinzip hätte nach diesen Aussagen die Verfeinerung der Gesamtnutzenfunktion durch quantitativ ergiebigere Fragen (Trade-off-Justierung) durchgeführt werden können. Da es jedoch lediglich darum ging, die prinzipielle Durchführbarkeit zu verifizieren, wurde darauf verzichtet.

Die Versuche ergaben zwei Hinweise zu allgemeinen Verhaltensweisen von Personen bei ungewohnten Problemstellungen:

- Es entstand der Eindruck, daß die Testperson während der ersten vier Probleme eine Orientierungsphase durchlief, in der sich eine Vorstellung der Ergebnisse auf den Einzelkriterien herausbildete. Damit konform geht die Beobachtung, daß das Entscheidungsproblem häufig durch Definition von Filtern auf den einzelnen Kriterien bzw. durch Streichung von Extrempunkten gelöst wurde. Nachdem sich diese Vorstellung gebildet hatte, war die Testperson in der Lage, bei dem Kontrollproblem die Ergebnisse auf zwei Kriterien gleichzeitig zu betrachten und Verhältnismäßigkeitsüberlegungen für die Entscheidung zu verwenden. Verallgemeinert bedeutet das, daß Personen bei zunächst ungewohnten Problemen eine filternde, problemreduzierende Vorgehensweise verwenden, bei häufiger Wiederholung aber zu Verhältnismäßigkeitsüberlegungen übergehen.
- Ferner wurde beobachtet, daß die bei den ersten Entscheidungsproblemen aufgebauten Filterkriterien zweierlei Qualität besaßen. Die im weiteren 'Hard-Limits' genannten Anforderungen an die Ergebnisse wurden relativ rasch genannt und bis zuletzt aufrecht erhalten. In einem zweiten Schritt erfolgte eine Verschärfung durch 'Soft-Limits', die nach strategischen Gesichtspunkten aufgebaut wurden. Diese wurden nach dem Übergang zu einer verhältnismäßigkeitsorientierten Betrachtungsweise fallengelassen. Für andere Anwendungen ergibt sich daraus, daß überprüft werden muß, inwieweit die genannten Randbedingungen wirklich Hard-Limits darstellen, oder ob diese sich nicht durch nichtlineare Nutzenfunktionen ersetzen lassen.

Abschließend sollen einige kritische Anmerkungen zu den durchgeführten Untersuchungen erfolgen:

- Man sollte sorgfältig darauf achten, daß durch die ersten, präsentierten Entscheidungsprobleme die Größenordnung der Abwägungskonstanten nicht schon suggeriert wird. Andernfalls besteht die Gefahr, daß die befragte Person alle weiteren Entscheidungen lediglich mit Blick auf die ersten Aussagen trifft. Dadurch kann die Präferenzstruktur verfälscht werden. Gerade die ersten Kontrollprobleme sollten deshalb eine große Spannweite von Trade-off-Raten überdecken.
- Die Erstellung von Gesamtnutzenfunktionen aus den Entscheidungsergebnissen anderer Vorgehensweisen als einer abwägenden Betrachtung ist unzulässig. Nur Entscheidungen, die auf einer konsequent abwägenden Vorgehensweise beruhen, sind für die Konstruktion der Gesamtnutzenfunktion zu verwenden.
- Es muß streng berücksichtigt werden, inwieweit die Personen wirklich auf zwei Sachgebieten gleichzeitig (Umwelt und Finanzen) aussagefähig sind. Die Strukturen der öffentlichen Verwaltung basieren eher auf einer fachlichen Untergliederung, die eine solche Dop-

pelkompetenz ausschließt. Deshalb müssen möglicherweise zwei Sachbearbeiter aus verschiedenen Ressorts zusammen die notwendigen Entscheidungen treffen.

Insgesamt kann aus den Erfahrungen jedoch geschlossen werden, daß die Erstellung einer Gesamtnutzenfunktion möglich ist und sogar von den Personen als Gewinn verstanden wird. Die Personen müssen jedoch ausreichend Zeit haben, um sich in die Problemstellung einzuarbeiten und eigene Präferenzstrukturen zu entwickeln. Dies kann durch Auseinandersetzung mit mehreren, einfachen Entscheidungsproblemen forciert werden. Die Akzeptanz formaler Modelle ist keineswegs selbstverständlich. Diesbezügliche Erläuterungen sollten erst nach der Einarbeitung der beteiligten Personen in das Problemfeld gegeben werden.

Die hier vorgestellte, indirekte Vorgehensweise zur Ermittlung einer Gesamtnutzenfunktion diene lediglich zur Ermittlung der nichtlinearen Präferenzen der Entscheider und zur Bestimmung der Abwägungskonstanten der Kriterien. Eine Erweiterung auf die Ermittlung von eindimensionalen Nutzenfunktionen mittels Risikoentscheidungen zur Darstellung des Risikoverhaltens ist anzustreben.

6.5. Aus der EA-Anwendung resultierende Vorteile

Bei öffentlichen Entscheidungen ist es nicht ausreichend, ein gutes, adäquates Entscheidungsmodell zu erstellen, sondern den Beteiligten muß deutlich werden, daß durch die Anwendung der EA für sie ein Vorteil entstanden ist. Andernfalls wird die aufwendige Erstellung des Entscheidungsmodells als zwecklos wahrgenommen und die Akzeptanz für eine erneute Anwendung der EA wird minimal.

Zuerst müssen aus dem Entscheidungsmodell Informationen und Handlungshinweise abgeleitet werden. Das wird in der Regel nicht von den Personen direkt, sondern durch den Projektbegleiter (s. 6.2.1.) vorgenommen. Die Handlungshinweise können sich

- auf das Entscheidungsmodell selber beziehen (Vereinfachung / Verfeinerung des Modells),
- auf die untersuchten Konzepte (Durchführung / Streichung von Konzepten, optimale Konzeptparameter, Verbesserungshinweise, Hinweise für neue Konzeptansätze),
- auf sinnvolle Informationen (Gutachten, Erkundungen, Vorversuche),
- auf Randbedingungen (Genehmigungsvarianten, Deponiebetriebsszenarien),
- auf vorliegende Interessenkonflikte (diskussionwürdige Punkte, Konsensvorschläge),
- und auf die Entscheidungsstruktur (dringende Entscheidungen, Verzögerung von Entscheidungen hinter Handlungen / Ereignisse / externe Entscheidungen) beziehen.

Welche Untersuchungen an dem Entscheidungsmodell vorgenommen werden müssen, um diese Handlungshinweise abzuleiten und zu plausibilisieren, wurde an vielen Beispielen in 5.3.5. gezeigt.

Die Informationen und Handlungshinweise müssen dann den beteiligten Personen präsentiert und erläutert werden. Dabei ist es wichtig über die Akzeptanz des zugrundeliegenden Entscheidungsmodells hinaus, die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Argumentation sicherzustellen. In 8.2. werden die zur Präsentation zur Verfügung stehenden Hilfsmittel diesbezüglich eingeordnet und Vorschläge für weitere sinnvolle Hilfsmittel unterbreitet.

Die Kenntnis und Akzeptanz von Informationen und Handlungshinweisen kann den beteiligten Personen Vorteile verschaffen, die nun grob klassifiziert werden.

Monetäre Einsparungen:

- Die explizite Darstellung von Informationsmängeln hilft, die Gefahr von unvorhergesehenen, kostensteigernden Ereignissen bei der Sanierung aufzudecken (z.B. Hohlräume im Untergrund von Bergen, die für die Dichtungsvarianten verfüllt werden müssen). Das Risiko von teuren Fehlentscheidungen aufgrund unzulässiger Annahmen wird dadurch reduziert. Diesbezügliche Hinweise zu sinnvollen, weiteren Gutachten werden gegeben.
- Durch die Strukturierung der Bearbeitung wird verhindert, daß Konzepte geplant werden, die sich im Anschluß als politisch / genehmigungsrechtlich nicht durchsetzbar oder als unökonomisch (im weitesten Sinn) erweisen.
- Die Sanierungsuntersuchung wird konsequent auf die entscheidungsrelevanten Informationen gelenkt. Gutachten zu irrelevanten Problemen werden dadurch vermieden (z.B. sind detaillierte Gutachten zur Erfassung des Volumens von Bergen irrelevant, weil die Umlagerung als einziges Sanierungskonzept, das diese Information benötigt, sehr schlecht bewertet wird).
- Auch innovative Verfahren, die Risiken bergen aber große Einsparungen bewirken können (z.B. die Basisabdichtung), sind bewertbar. Es liegt in der Hand des Entscheiders, das quantitativ dargestellte Risiko in Kauf zu nehmen oder nicht.
- Durch die ganzheitliche Betrachtung aller Vor- und Nachteile kann eine eingeschränkte, kostenorientierte Betrachtung vermieden werden. Es können auch Konzepte begründet werden, die zwar primär teurer sind, jedoch langfristig Gewinn abwerfen.
- Die Methodik ist hinsichtlich der behandelbaren Entscheidungsgegenstände sehr flexibel. Insbesondere die Erweiterung des Entscheidungsgegenstandes ermöglicht häufig originelle, preisgünstige Lösungen (z.B. wurde durch die Einbeziehung der Folgenutzung in die Entscheidung die Möglichkeit für eine Nullvariante eröffnet. Wäre vorab die Folgenutzung 'Badegewässer' als Randbedingung festgeschrieben worden, hätte diese preiswerte Variante nicht mehr betrachtet werden können).
- Aus dem Entscheidungsmodell können Verbesserungshinweise für existierende bzw. Hinweise für neue, erfolgversprechende, kostensparende Konzeptansätze gewonnen werden (z.B. legt die große Unsicherheit bzgl. des zu erwartenden Schadstoffaustrages aus Bergen ein daran flexibel anpaßbares Sanierungskonzept nahe).
- Die zu treffende Entscheidung kann in Teilschritte aufgelöst werden. Dadurch kann zwischen dringenden und aufschiebbaren Entscheidungen differenziert werden. So wird verhindert, daß verfrühte bzw. verspätete Entscheidungen getroffen werden.
- Es kann in beschränktem Umfang eine Optimierung von Konzepten vorgenommen werden.

Zeitliche Straffung:

- Durch den strukturierten Entscheidungsablauf wird das Risiko von Planungsschleifen (erneute Planung auf der Basis geänderter Randbedingungen) vermindert. Da eine fachliche Aufteilung vorgenommen werden kann, ist zudem eine parallele Bearbeitung möglich.
- Die frühe Einbeziehung der Genehmigungs- und Fachbehörden läßt kürzere Genehmigungszeiten erwarten.

Verminderte Konflikte:

- Die frühe Einbeziehung von allen relevanten Institutionen (u.a. Genehmigungs- und Fachbehörden) wirkt konsensfördernd.
- Das explizite Entscheidungsmodell hilft bei der Erläuterung der Entscheidung gegenüber Dritten. An der Definition des Modells können alle relevanten Personengruppen mitwirken, so daß eine gemeinsame Diskussionsbasis geschaffen wird. Durch die Möglichkeit zur Verwendung mehrerer, personenspezifischer, expliziter Bewertungssysteme können alle Beteiligten wichtige Informationen für die Konsensdiskussion gewinnen.
- Durch die Verwendbarkeit vieler Entscheidungskriterien können auch die Interessen anderer (z.B. Anwohner) berücksichtigt werden.
- Regelverletzungen werden durch die Bearbeitungsstruktur erschwert (z.B. nachträglicher Aufbau von Randbedingungen, Anpassung eigener Bewertungsmodelle an das persönlich präferierte Konzept, strategische Bewertungssysteme, die versuchen den Konsens in eine bevorzugte Richtung zu lenken).
- Die Identifikation und Berücksichtigung kostensteigernder Ereignisse bei der Entscheidung mindert das Konfliktpotential zwischen Auftraggeber und -nehmer (finanzielle Nachforderungen) ohne die Nachteile von pessimistischen, worst-case Entscheidungen in Kauf zu nehmen.

Erhöhte Entscheidungssicherheit:

- Es gibt (fast) keine Einschränkungen des Entscheidungsgegenstandes infolge Darstellungsgrenzen der Entscheidungsmethodik. Die beteiligten Personen bestimmen somit den Entscheidungsgegenstand und nicht die Methodik.
- Durch die systematische Problemlösung können alle relevanten Sachgebiete identifiziert werden. Durch die hohen Anforderungen der EA werden diesbezügliche Definitionsdefizite aufgedeckt.
- Es müssen keine Sanierungsansätze wegen Nichtbewertbarkeit ausgeschlossen werden. Die Suche nach neuen Alternativen wird stimuliert.
- Der tatsächlich verfügbare Informationsstand wird für die Entscheidung dargestellt.
- Es wird eine ganzheitliche Entscheidung und keine Optimierung auf Teilbereichen vorgenommen. Unzulässige Problemreduktionen werden vermieden.
- Das Entscheidungsmodell kann in Teilen für andere Fälle wiederverwendet werden. Dadurch werden zukünftige Entscheidungen effektiver und konsistenter getroffen.

Inwieweit sich diese Vorteile realisieren lassen hängt u.a. von dem jeweiligen Anwendungsfall und den beteiligten Personen ab. Es ist jedoch nicht möglich, im nachhinein eine Bilanzierung durchzuführen, weil der Referenzpunkt "Entscheidung ohne EA" dann nicht mehr verfügbar ist. Letzten Endes stellt nur die Entscheidung der beteiligten Personen, die EA für weitere Entscheidungsprobleme zu verwenden, einen Erfolgsindikator für die Anwendbarkeit der EA dar.

7. Methodische Erweiterungen der EA

Generell gilt, daß die EA sowohl über ausreichend Anpassungsflexibilität für die spezifischen Problemstellungen bei Sanierungsentscheidungen als auch über ein ausreichendes Instrumentarium an Untersuchungsmöglichkeiten verfügt. Einige grundsätzliche Schwachpunkte verbleiben dennoch:

Auffällig war, daß die EA nur wenig Hinweise und Anreize zur Alternativengenerierung und Verbesserung gab. Der Prozeß der Sanierungskonzepterstellung wurde größtenteils isoliert von der Quantifizierung durchgeführt. Dies drückt sich u.a. dadurch aus, daß die Beschreibung der Sanierungskonzepte und die Quantifizierung durch Netzwerke zwei völlig getrennte Dokumente sind. Die Darstellung der Konzepte wird durch die EA nicht unterstützt. Hier wäre ein modulartige Erstellung der Sanierungskonzepte aus Teilschritten und die darauf aufbauende Quantifizierung wünschenswert. Weiterhin ist die Möglichkeit zur schnellen, strukturellen Variation des Entscheidungsmodells gerade bei Verhandlungen äußerst wichtig. Die EA zeigt jedoch ein recht schwerfälliges Verhalten bei der Änderung von Kriterien, Attributen und Randbedingungen. Die Nachführung der Modelle ist äußerst aufwendig. Generell kann gesagt werden, daß die Komplexe "Konzepterstellung" und "Bewertung" im Rahmen der EA noch zu stark getrennt sind. Hier sind weitergehende Überlegungen sinnvoll, die jedoch nicht mehr Gegenstand dieser Arbeit sein können.

Dann zeigte sich, daß die EA Probleme mit komplexen Handlungsstrukturen hat. Darauf wird in dem folgenden Abschnitt eingegangen.

Schließlich verbleibt auf dem Gebiet der Konfliktvermittlung unter Verwendung der Methoden der EA noch ein großer Forschungsbedarf. Die in letzter Zeit vorgestellten Ansätze, die auf einer automatischen Konfliktauflösung basieren /vanden Honert-95/, erscheinen aus Sicht der gewonnenen Erfahrungen für die Anwendung bei öffentlichen Entscheidungen ungeeignet. In 7.2. wird deshalb kurz analysiert, welche Ursachen Konflikte bei Sanierungsentscheidungen haben, und es werden Ansätze zu deren Behandlung gegeben.

7.1. Handlungsnetze

Die Charakterisierung der Sanierungsentscheidung, wie sie in Abschnitt 2.2. vorgenommen worden ist, beschreibt diese als einstufige Entscheidung. Darauf aufbauend wurde in Abschnitt 2.3. lediglich gefordert, daß die Bewertung von Gutachten unterstützt wird, nicht jedoch die Unterstützung von sequentiellen Entscheidungen, wie sie z.B. in Abb. 15. dargestellt sind. Deshalb wurde auch das Programmsystem ganz auf einstufige Entscheidungen ausgerichtet.

Die Darstellung der Entscheidungsstrukturen durch einstufige Entscheidungen hat sich jedoch für die Sanierungsentscheidung als unzureichend herausgestellt.

1. Die möglichen Untersuchungen bei Altlastsanierungen sind so vielschichtig und können derart komplexe Informationen (z.B. Aussagen zur Realisierbarkeit von Konzepten - Punkt 3. oder gleichzeitige Informationen zu den Kosten, der Haltbarkeit und dem Zeitbedarf) liefern, daß diese im Rahmen einfacher Informationswert-Untersuchungen (s. 3.3.12. u. Anhang A) nicht mehr erfaßt werden können.

2. Bei den entscheidenden Personen war die Tendenz festzustellen, die zu treffenden Entscheidungen in kleinere Einzelentscheidungen über Sanierungsteilschritte zu zerlegen. Diese Vorgehensweise kann lediglich mit sequentiellen Entscheidungen erfaßt werden.
3. Alle untersuchten Sanierungskonzepte mußten a-priori der Anforderung der technischen Realisierbarkeit und rechtlichen Genehmigungsfähigkeit genügen. Konzepte, die diese Randbedingungen nicht erfüllen, sollten schon vorab ausgesondert werden. Dieser Ansatz hat sich als nicht praxistauglich erwiesen. Bei vielen Sanierungsverfahren kann erst nach Vorversuchen oder sogar erst nach der Durchführung über die Realisierbarkeit bzw. den Erfolg entschieden werden. Aussagen zur Genehmigungsfähigkeit werden von den Behörden in der Regel nicht vorab erteilt, sondern erst nach der Sanierungsplanung bzw. nach den Vorversuchen. Das Scheitern von Konzepten führt zu der ursprünglichen Entscheidungssituation zurück. Dies gilt jedoch nur näherungsweise, weil Kosten angefallen sind, Zeit verstrichen ist und möglicherweise durch ausgeführte Handlungen andere Konzepte technisch nicht mehr durchführbar sind. Die Möglichkeit des Scheiterns von Konzepten ist ein wichtiger Bewertungsaspekt, der nicht einfach durch Kriterien erfaßt werden kann, sondern sich nur in der Struktur des Handlungsmodells widerspiegelt.

Keines der bisher entwickelten Hilfsmittel für die EA (s. 4.3.) ist bisher in der Lage, die komplizierten Handlungsstrukturen, wie sie aus den drei Punkten folgen, in einer einfachen Weise darzustellen. Deshalb soll im folgenden schrittweise ein Vorschlag für eine Erweiterung des Entscheidungsbaumkonzeptes unterbreitet werden, der es gestattet, diese übersichtlich zu erfassen. Als Anwendungsbeispiel wird folgende, aus dem betrachteten Anwendungsfall entnommene Entscheidungsproblematik verwendet:

Zur Sanierung stehen die Konzepte 'Nachträgliche Basisabdichtung' NB und 'Nullvariante' zur Wahl. Die NB hat den Nachteil, daß sie sich nach ihrer Durchführung als undicht erweisen kann ($p_{\text{Scheitern}}$). In diesem Fall ist anschließend noch die Nullvariante durchzuführen. Die Gesamtkosten sind in diesem Fall die Kosten der NB plus die Kosten für die Nullvariante. Die NB hat den weiteren Nachteil, daß ihre spezifischen Dichtkosten k nur ungenau bekannt sind. Um die Dichtigkeit der NB und ihre spezifischen Dichtkosten zu bestimmen, kann zuvor eine Testwanne erricht werden. Diese gibt Auskunft über die Realisierbarkeit von NB (d.h. $p_{\text{Scheitern}}$ wird im Idealfall auf 1 oder 0 reduziert) und verringert die Unsicherheit über k , verursacht jedoch Zusatzkosten.

In Abbildung 48.-1 ist die Handlungsstruktur für die einfache Entscheidung 'Nullvariante' oder 'Nachträgliche Basisabdichtung' als Entscheidungsbaum dargestellt. Die Zufallsknoten drücken hierbei die Wahrscheinlichkeitsverteilung über mögliche Ergebnisse für den Gesamtnutzen aus. In dieser Darstellung sind weder das Scheitern der 'NB' noch die Möglichkeit einer Testwanne enthalten.

Aufgrund der Schwierigkeiten von Entscheidungsbäumen viele unsichere Variablen zu behandeln, wird wie in Abbildung 48.-2 dargestellt der Zufallsknoten über die Gesamtergebnisse durch ein **Informationselement** (Oval) ersetzt. Informationselemente sind Funktionsnetzwerke und bestehen aus den in 4.3.2. beschriebenen Teilelementen. Die Informationselemente werden durch ihr wichtigstes Element, meistens das Element zur Berechnung des Gesamtnutzens, bezeichnet.

In Abbildung 48.-3 wird das mögliche Scheitern der NB nach ihrer Durchführung (z.B. falls die erstellte Dichtwanne undicht ist) als **Zufallsknoten** eingeführt. Ein Scheitern führt zu der ursprünglichen Entscheidungsproblematik zurück, mit den Änderungen, daß die Variante NB

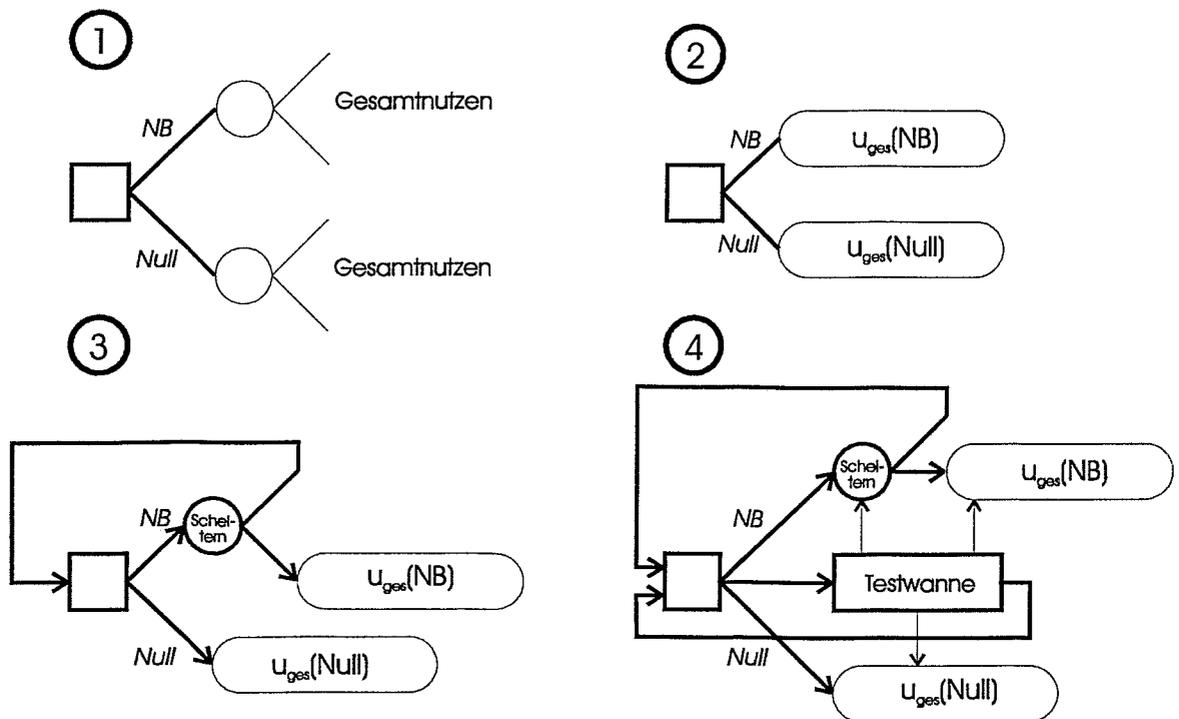


Abbildung 48. Übergang von Entscheidungsbäumen zu Handlungsnetzwerken

nicht mehr durchführbar ist und daß sich die Kosten aller verbleibenden Varianten um die Kosten der NB erhöhen. Diese Änderungen sind (noch) nicht aus dem Diagramm ersichtlich. Durch die Einführung rekursiver Strukturen ist es notwendig, den Handlungsfluß (dicke Linien) durch Pfeile zu bezeichnen. Die von Entscheidungsknoten, Zufallsknoten und Handlungsknoten (s.u.) erreichbaren Elemente werden als ihre Nachfolger bezeichnet.

In Abbildung 48.-4 wird ein neues Element (**Handlungselement** - Rechteck) für Entscheidungsbäume eingeführt, das Handlungen charakterisiert. In dem dargestellten Fall ist die Handlung die Errichtung einer Testwanne um die Machbarkeit und Kosten der NB zu testen. Handlungen beeinflussen den Stand der verfügbaren Informationen (dünne Pfeile). In dem Beispiel ist dies einmal die Wahrscheinlichkeit des Scheiterns der NB (Pfeil zum Zufallsknoten), die Ergebnisse der NB (durch Kenntnis der spezifischen Dichtkosten und durch Erhöhung der Gesamtkosten um die Kosten der Testwanne) und die Ergebnisse der Nullvariante (durch Erhöhung der Gesamtkosten um die Kosten der Testwanne)⁸². Nachdem die Testwanne errichtet worden ist, kann die ursprüngliche Entscheidung getroffen werden, diesmal auf der Basis des veränderten Kenntnisstandes.

Ein Diagramm wie Abbildung 48.-4 wird im folgenden **Handlungsnetz** genannt. Abbildung 48.-4 ist zunächst ein formales Diagramm um den Handlungsfluß (dicke Pfeile) und den Informationsfluß (dünne Pfeile) zu veranschaulichen. Basierend auf dieser Darstellung kann ein Berechnungsverfahren definiert werden. Dies entspricht dem für normale Entscheidungsbäume mit dem Unterschied, daß eine strukturelle Eigenschaft des Entscheidungsbaumes (Koaleszenz, d.h. Wiederverwendung identischer Teilbäume), die die Berechnung wesentlich beschleunigen kann /Call-90/ automatisch genutzt wird. Zur Veranschaulichung des Berech-

⁸² Nicht eingezeichnet ist die Beeinflussung von $u_{ges}(Null)$ durch die NB, die im Falle des Scheiterns der NB relevant wird.

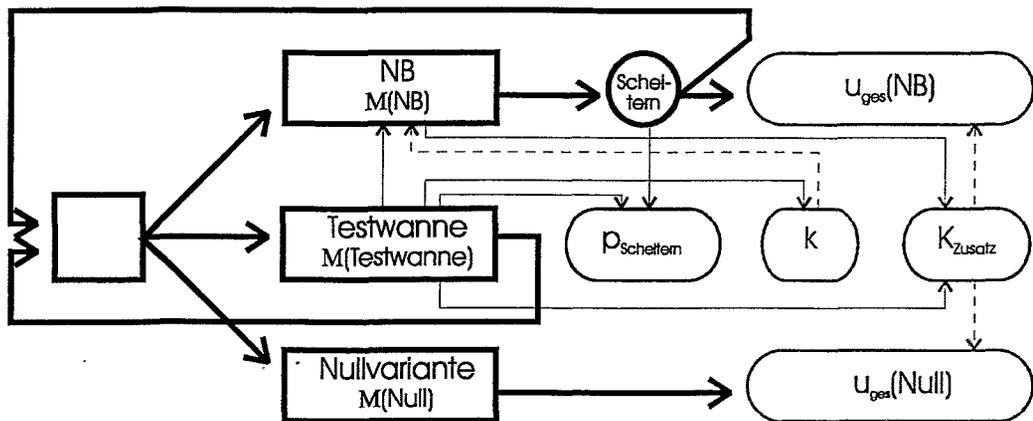


Abbildung 49. Handlungsnetz für die Berechnung von Handlungsalternativen

nungsverfahrens müssen die Informationszusammenhänge detaillierter dargestellt werden (s. Abbildung 49.). Es wird eine Aufteilung in Abhängigkeiten (gestrichelt, die Gesamtnutzenelemente hängen von den Zusatzkosten ab), und Modifikationen (durchgezogen, die Testwanne verändert die Verteilungen von K_{Zusatz} , k und $p_{Scheitern}$) vorgenommen. Explizit eingezeichnet sind die Informationselemente für die Zusatzkosten K_{Zusatz} , für die spezifischen Dichtkosten k , und die Wahrscheinlichkeit des Scheiterns $p_{Scheitern}$ der 'Nachträglichen Basisabdichtung'. Die Kosten der NB sind hier über die Zusatzkosten berücksichtigt, damit diese im Falle des Scheiterns der NB bei der dann obligatorischen Nullvariante berücksichtigt werden.

Eine Auflistung der Daten und Berechnungsalgorithmen von Handlungsnetzwerken ist in Tabelle 9. angegeben.

Element	Daten	Berechnung
Entscheidungsknoten <i>Quadrat</i>	– Liste mit Nachfolgerelementen	$\bar{u}_{ges} = \max_{\text{Nachfolger } j} \{ \bar{u}_{ges}^j \}$
Zufallsknoten <i>Kreis</i>	– Liste mit Nachfolgerelementen – Probabilistischer Auswahlalgorithmus für Nachfolger mit Modifikationsvorschriften für Informationselemente	$\bar{u}_{ges} = \bar{u}_{ges}^{\text{Ausgewählter Nachfolger}}$ Mittelung über die Verteilungsfunktion von u_{ges} gemäß Auswahlalgorithmus
Informationselement <i>Oval</i>	– Funktionsnetz	Für Informationselemente im Handlungsfluß: $\bar{u}_{ges} = \bar{u}_{ges}^{\text{Gesamtnutzenelement}}$
Handlungselement <i>Rechteck</i>	– Algorithmus zur Berechnung der Machbarkeit M – Liste mit Modifikationsvorschriften für Informationselemente – Nachfolgerelement	$\bar{u}_{ges} = \bar{u}_{ges}^{\text{Nachfolger}}$ nachdem Modifikationen ausgeführt wurden

Tabelle 9. Elemente von Handlungsnetzwerken

Allen Handlungen ist eine binäre Information, die Machbarkeit M zugeordnet, die angibt, ob die Handlung durchführbar ist oder nicht. Damit wird verhindert, daß eine Handlung zweimal durchgeführt wird. Die über den Handlungsfluß erreichbaren Elemente enthalten jeweils einen Berechnungsalgorithmus für den Erwartungswert des Gesamtnutzens - \bar{u}_{ges} . Ziel der Evaluierung des Handlungsnetzes ist die Berechnung von \bar{u}_{ges} des ersten Entscheidungsknotens bzw. die Identifizierung des Nachfolgers des Entscheidungsknotens mit maximalem \bar{u}_{ges} .

Handlungsnetzwerke gestatten die Darstellung und Berechnung teilrekursiver Handlungsstrukturen. Es muß jedoch betont werden, daß keine vollständig rekursiven Entscheidungsprobleme, d.h. Probleme die immer wieder zu neuen Alternativen führen (z.B. Entscheidungen an der Börse), mit ihnen berechnet werden können. Als wichtiger Vorteil der Handlungsnetzwerke ist anzusehen, daß Gutachten oder Vorversuche als explizite Handlungsalternativen dargestellt und mit ihren Auswirkungen auf den Informationsstand modelliert werden können. Die Modelle der vorhandenen Handlungsalternativen müssen bei der Einführung neuer, möglicher Vorversuche nicht verändert werden.

Die hier skizzierten Handlungsnetzwerke gilt es weiterzuentwickeln. Denkbare Arbeitsrichtungen sind Erweiterungen zur verbesserten Darstellung von Handlungsabläufen (z.B. zeitlich parallele Handlungen), die Kombination mit Bayes'schen Netzwerken /Pearl-88/ und die Entwicklung effizienter Berechnungsalgorithmen.

7.2. Mehrpersonenentscheidungen

Der ursprüngliche Ansatz war, die Sanierungsentscheidung als Einpersonenentscheidung zu behandeln (s. 2.2.-e.). Es wurde angenommen, daß aufgrund fehlender scharfer Interessenkonflikte stets ein Konsens zwischen den Beteiligten durch Einigung auf eine gemeinsame Gesamtnutzenfunktion erreicht werden kann. Dies bedeutet, es sollte nicht über Handlungsalternativen sondern über Bewertungssysteme, auf der Basis der personenspezifischen Gesamtnutzenfunktionen, diskutiert werden. Aufgrund zeitlicher Randbedingungen konnte dieser Abgleich der verschiedenen Gesamtnutzenfunktionen nicht am Anwendungsfall erprobt werden. Aus den Gesprächen zur Bildung der personenspezifischen Gesamtnutzenfunktionen und insbesondere aus den Präsentationen der Implikationen des Entscheidungsmodells (s. 5.3.5.) können jedoch Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit des Ansatzes gezogen werden.

Mit den Erfahrungen des betrachteten Anwendungsfalles lassen sich fünf Ursachen für Konflikte bei Sanierungsentscheidungen identifizieren:

1. Unterschiedliche Problemlösungsstrategien

Bei den beteiligten Personen wurden stark unterschiedliche Ansätze zur Lösung eines Entscheidungsproblems beobachtet. Diese reichten von einer reinen Betrachtung wirtschaftlicher Bilanzen über filternde Vorgehensweisen bis hin zu einer ganzheitlichen, verbalen Problembehandlung. Dabei gingen die Personen insbesondere bei der Erstellung der Gesamtnutzenfunktion immer wieder unwillkürlich in den von ihnen bevorzugten Ansatz über, was in einigen Fällen letztendlich zum Scheitern der Gespräche führte. Bevor die EA sinnvoll eingesetzt werden kann, muß deshalb eine einheitliche Akzeptanz oder zumindest Billigung ihrer Problemlösungsstrategie (Entscheidung auf der Basis des Gesamtnutzerwartungswertes) erfolgen. Bei dem betrachteten Anwendungsfall wurde diese

Billigung teilweise vorschnell vorausgesetzt. Hier wäre deutlich mehr Arbeit mit den Personen zur Verdeutlichung des Ansatzes notwendig gewesen, was jedoch der zeitliche Rahmen der Arbeit nicht zuließ.

2. Verschiedene Entscheidungsgegenstände

Die Entscheider sehen teilweise unterschiedliche Entscheidungsgegenstände. Diese werden durch Randbedingungen erzeugt, die sich aus den spezifischen Aufgaben der Personen ergeben. So ist z.B. der Deponiebetreiber verantwortlich für die Entsorgung von Hausmüll. Deshalb ist die Entsorgungssicherheit und deren Finanzierung eine für ihn nicht diskutabile Randbedingung. Daraus ergibt sich der Weiterbetrieb der Deponie. Die Umweltbehörden sind mit dem Schutz der Umwelt betraut. Deshalb ist für sie ein Endzustand, in dem die Umweltverschmutzung billigen Kauf genommen wird, nicht akzeptabel.

Ziel einer Entscheidungsunterstützung muß hier sein, die Positionen der anderen Beteiligten zu erläutern, Randbedingungen zu lockern, indem sie dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz unterworfen werden, und letztendlich zu einem gemeinsamen Entscheidungsgegenstand zu gelangen. Im betrachteten Anwendungsfall wurde weniger eine explizite Einigung als lediglich eine stillschweigende Duldung (z.B. Nullvariante als theoretisch mögliche und deshalb zu betrachtende Variante) erzielt. Eine klare Diskussion über die Grundlagen ("Ist auch die Beseitigung der Umweltgefährdung dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz zu unterwerfen?") steht noch aus.

3. Unterschiedliche Wertesysteme

Die unterschiedlichen Interessenlagen der Personen drücken sich sowohl in den gesetzten Randbedingungen (s. 2.) und als auch in den verwendeten Kriterien (Wertesystemen) aus. Auf der Basis der im Anwendungsbeispiel gewonnenen Erfahrungen erscheint es jedoch möglich, die Interessenlagen anderer Personen zumindest zu verdeutlichen und darauf aufbauend, die Legitimität aller Kriterien zu veranschaulichen. Die Betrachtung der Vor- und Nachteile verschiedener Varianten aus Sicht der anderen beteiligten Personen ergibt wertvolle Hinweise für die Finanzierungsdebatte ("Wenn dem Land die Arbeitsplätze wichtig sind, so soll es die Kosten dafür übernehmen.").

4. Divergierende Prioritäten

Die Anerkennung der Legitimität von Kriterien und darauf aufbauend ihre Quantifizierung bedeutet noch nicht, daß diese auch für alle personenspezifischen Entscheidungen Berücksichtigung finden. Der ursprüngliche Ansatz durch Diskussion zu gemeinsamen Prioritäten (ausgedrückt durch die Abwägungsparameter und Nutzenfunktionen) zu kommen, war zu optimistisch. Es ist zudem fraglich, ob dieser angestrebte, totale Konsens wirklich für eine gemeinsame Verhandlungslösung notwendig ist. Sinnvoll ist die Diskussion über Abwägungskonstanten in jedem Fall zwischen Vertretern verschiedener Behörden des gleichen Fachgebietes (z.B. Umweltministerium und nachgeordnete Umweltämter). Hier ist ein Konsens schon im Hinblick auf die i.d.R. kontroverse Diskussion mit dem Sanierungsverantwortlichen von Vorteil. Geringes Konfliktpotential birgt auch die Diskussion zwischen verschiedenen Fachbereichen, weil sich ihre Bewertungssysteme meistens nur in wenigen Kriterien (Kosten) überschneiden.

Die Konflikte zwischen Sanierungsverantwortlichen und Behörden lassen sich vermutlich meistens nicht durch die Diskussion von Abwägungskonstanten lösen, insbesondere dann

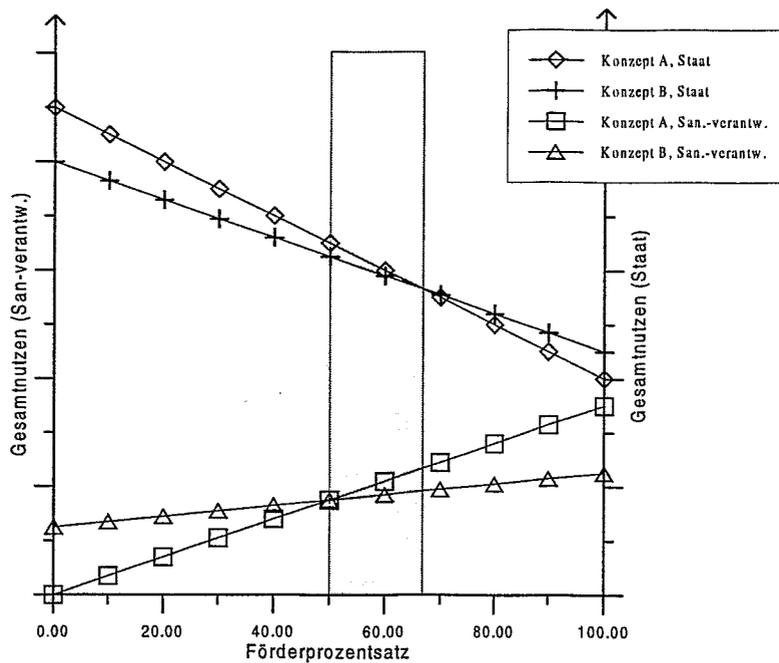


Abbildung 50. Konsenssuche durch Variation des Finanzierungsmodells

nicht, falls keine gemeinsamen Kriterien vorhanden sind⁸³. Durch das Finanzierungsmodell sind die beiden Bewertungssysteme jedoch gekoppelt. Durch Variation des Finanzierungsmodells (z.B. des Förderprozentsatzes) erscheint es häufig möglich, zu einer Konsenslösung bzw. zu einem Vorschlag, bei dem keine Partei viel verliert, zu kommen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine gewisse Handlungsflexibilität bei den Beteiligten. In Abbildung 50. ist dazu eine typische Situation skizziert. Wenn der Fördersatz in dem grauen Bereich liegt, so ist Konzept A sowohl für den Staat als auch für den Sanierungsverantwortlichen optimal. Mit Diagrammen dieses Typs können durch den Projektbegleiter Konsensvorschläge erarbeitet werden. Andere Ansätze finden sich in /Raiffa-82/.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der zu Konflikten führen kann, ist die nachträgliche Anpassung von Aussagen der Entscheider an die Bewertungsergebnisse bzw. an den Diskussionsstand. Hier trägt die EA durch Ausformulierung der personenspezifischen Entscheidungsgrundlagen, die diese Anpassung unterbindet, wesentlich zur Nachvollziehbarkeit der Entscheidung und zur Fairneß während des Diskussionsprozesses bei. Diese Eigenschaft wurde von einigen befragten Personen explizit begrüßt und als eine sehr wichtige Eigenschaft der EA gekennzeichnet.

5. Strategische Konflikte aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen

Die vorangegangenen vier Punkte bezeichneten inhaltliche Ursachen von Konflikten. Es ist jedoch auch möglich, daß Konflikte von Personen strategisch eingesetzt werden, um ihre Ausgangsposition für die Konsensdiskussion zu verbessern:

– Ungleiche fallspezifische und methodische Vorkenntnisse

Die beteiligten Personen hatten stark differierende Vorkenntnisse über den zur Entscheidung betrachteten Sanierungsfall und die darauf anzuwendende, entscheidungsunterstützende Methodik. Das führte dazu, daß einige Personen ohne detaillierte Fallkenntnisse eine Formalisierung der Entscheidung ablehnten, weil ihnen einerseits die

⁸³ Die Kosten sind nicht als gemeinsames Kriterium anzusehen, weil jede Partei nur den für sie anfallenden Kostenanteil als entscheidungsrelevant ansieht.

konkreten Bedingungen unbekannt waren und sie fürchteten, zu weitreichende Festlegungen zu treffen. Auch bei anderen Sanierungsfällen ist es nicht möglich, alle beteiligten Personen auf den gleichen Kenntnistand zu bringen. Ein Ausweg ist die Einführung einer Vertrauensperson, den Projektbegleiter (s. 6.2.1.), die über detaillierte Kenntnisse des Anwendungsbeispiels verfügt und als neutrale Informationsquelle den Personen zur Verfügung steht. Darüber hinaus ist es notwendig, Unterlagen zu erarbeiten, die das Entscheidungsproblem charakterisieren und eine schnelle Einarbeitung gestatten.

– Verschiedene Verhandlungspositionen

Die an einer Sanierungsentscheidung beteiligten Personen haben unterschiedliche Möglichkeiten, was die Durchsetzung ihrer eigenen Positionen anbelangt. Die staatlichen Vertreter können durch ein Veto bei den Genehmigungen bestimmte Sanierungskonzepte blockieren, der Sanierungsverpflichtete kann durch Erklären der Zahlungsunfähigkeit andere Konzepte ausschließen. Die wechselseitige Androhung bzw. Anwendung dieses Instrumentariums kann zu recht komplizierten Verhandlungsstrukturen führen. Diese können z.B. mit Zustandsnetzwerken /Fang-93/ dargestellt und untersucht werden. Es muß jedoch überlegt werden, inwieweit die Untersuchung extremer Verhaltensweisen, wie sie ein Veto darstellt, für die Konsensfindung wirklich förderlich ist. Es erscheint effektiver, an einer Konsensfindung durch Konzeptvariationen zu arbeiten.

Insgesamt muß festgestellt werden, daß der Unterstützung von Mehrpersonenentscheidungen im Rahmen der EA noch zuwenig Beachtung geschenkt wurde. Insbesondere ihre Eignung den Konsensbildungsprozeß zu beschleunigen, sollte an Fallbeispielen getestet werden.

8. Erweiterungen des Programmsystems

Die Einsatzbereiche von Hilfsmitteln zur Anwendung der EA kann man grob einteilen in Modellierung, Inspektion und Präsentation. Im Bereich der Modellierung weisen die bisher entwickelten Hilfsmittel Probleme bei der Darstellung sequentieller oder rekursiver Entscheidungsprobleme auf (s. 7.1.). Als weiterer Schwachpunkt hat sich die Unterstützung bei der Erstellung von Bewertungssystemen erwiesen. Die bisherigen Werkzeuge waren für den ausschließlichen Einsatz durch den Projektbegleiter konzipiert worden. Dieser Ansatz hat sich nur teilweise bewährt. Hinweise zu sinnvollen Erweiterungen, die in Zusammenarbeit mit befragten Personen verwendet werden können, finden sich im nächsten Abschnitt.

Die derzeitig vorhandenen Inspektionswerkzeuge könnten durch Programme zur einfachen Ermittlung von Informationswerten (s. 3.3.12. und Anhang A) abgerundet werden. Da jedoch auch schon die vorhandenen Werkzeuge zahlreiche Hinweise zu signifikanten Unsicherheiten geben können, wurde für den betrachteten Anwendungsfall auf die aufwendige Implementierung diesbezüglicher Programmkomponenten verzichtet. Wesentlich erscheint hingegen für die Anwendung auf andere Altlastenfälle die Bereitstellung erweiterter Hilfsmittel zur Dissenzanalyse und Unterstützung von Gruppenentscheidungen (s. 7.2.).

Der Präsentation der Ergebnisse und ihrer Erläuterung wurde bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Im wesentlichen wurden dafür die für die Inspektion entwickelten Werkzeuge verwendet (Übersichts-Tool, Sensitivitätsanalyse). Es hat sich jedoch gezeigt, daß dies nicht ausreichend ist, weil die beteiligten Personen diese Werkzeuge nicht selbständig handhaben können und die getroffenen Aussagen somit nicht intern nachvollziehen können. Deshalb werden in 8.2. Empfehlungen für Präsentationshilfsmittel gegeben.

8.1. Erweiterte Werkzeuge zur Erstellung von Bewertungssystemen

Im Rahmen der EA werden die Probleme Risikoentscheidungen und Multiattributivität separat behandelt (s. 3.8. - 3.10.). Nachdem die funktionale Form der Nutzenfunktion festgelegt worden ist, werden die Nutzenfunktionen und Abwägungskonstanten getrennt ermittelt. Diese Vorgehensweise wirft verschiedene technische aber auch methodische Probleme auf:

1. Die Abwägung muß auf der Basis anschaulicher Ergebnisse erfolgen. Die Bestimmung der Abwägungsparameter wird dabei durch die nichtlinearen Nutzenfunktionen erschwert. Zur Lösung dieses Problems wurde der Trade-off-Editor entwickelt (s. 4.3.4.).
2. Wie sich aus dem Anwendungsfall ergeben hat, lehnen Personen Risikoentscheidungen über große Spannbreiten ('Russisch-Roulette-Fragen') ab. Deshalb müssen die Nutzenfunktionen durch schrittweise Erweiterung der Intervalle der präsentierten Lotterien ermittelt werden. Weiterhin hat es sich als sinnvoll erwiesen, nicht die in der EA-Literatur allgemein übliche Normierung der Nutzenfunktion (Extremalwerte auf 0 bzw. 1) zu verwenden, sondern die Nutzenfunktion so zu definieren, daß sie durch den Nullpunkt mit der Steigung 1 geht. Damit entsprechen die Quotienten der Abwägungsparameter den lokalen Trade-off-Raten am Nullpunkt und erhalten dadurch einen anschaulichen Sinn. Beides führt dazu, daß die Nutzenfunktion nur noch in Ausnahmefällen analytisch bestimmt

werden kann, so daß hier eine computertechnische Unterstützung des Ermittlungs- und Abstimmungsprozesses notwendig ist.

- Bei der Erstellung der Gesamtnutzenfunktion wurde deutlich, daß die Abhängigkeit der Trade-off-Raten vom Betrachtungspunkt für die Personen eine wesentliche Eigenschaft des Bewertungssystems darstellt (s. 5.3.5.2.). Ebenso war den Personen die Möglichkeit zur Definition nichtlinearer Präferenzen über die Kriterien wichtig. Die nachträgliche Überprüfung, inwieweit die über Risikoaussagen erstellten Nutzenfunktionen diese beiden Aspekte adäquat widerspiegeln ergab, daß selbst eine moderate Risikoaversion letztendlich sehr große Effekte bei den Trade-off-Raten und den nichtlinearen Präferenzen hervorrief. Dieses soll an einem Beispiel illustriert werden:

Aus der Aussage 44 MDM \approx [0.5: 20 MDM; 0.5:60 MDM] ergibt sich folgende Nutzenfunktion über die Fixkosten K : $u_K(K) = (e^{0.02 \cdot K} - 1) / 0.02$. Aus dieser Nutzenfunktion folgt:

$$\begin{aligned} \frac{d u_K(K = 0 \text{ MDM})}{dK} &= 1 && \Rightarrow \text{Änderung um den Faktor 7.4 in den Trade-off-Raten der} \\ \frac{d u_K(K = 100 \text{ MDM})}{dK} &= 7.4 && \text{Fixkosten zu den anderen Kriterien bei den Bezugspunkten} \\ &&& \text{K=0 MDM und K=100 MDM !} \end{aligned}$$

$$u(K = 100 \text{ MDM}) = 320 \quad \Rightarrow \text{Dies bedeutet, bei K=100 MDM werden die Fixkosten im Vergleich zum Nominalwert von 100 um den Faktor 3.2 stärker gewichtet.}$$

Das Beispiel verdeutlicht, daß der Abgleich der durch Risikofragen entstandenen Nutzenfunktion mit den lokalen Trade-off-Raten und den nichtlinearen Präferenzen durchgeführt werden muß. Dieser Aspekt wird in den bisherigen Veröffentlichungen zur EA nicht erwähnt. Die Berechnung der lokalen Trade-off-Raten ist technisch aufwendig, so daß hierfür die Nutzung computertechnischer Hilfsmittel unumgänglich ist.

- Wie in Abschnitt 6.4.4. dargelegt wurde, kann man in der Regel nicht davon ausgehen, daß die beteiligten Personen a-priori über eine differenzierte Präferenzstruktur hinsichtlich des Ergebnisraumes verfügen. Das dort beschriebene Verfahren ist technisch aufwendig, so daß sich auch hierfür computergestützte Werkzeuge anbieten.

Im folgenden soll ein Vorschlag unterbreitet werden, wie ein anwendungsorientiertes, computerbasiertes System zur Erstellung und Justierung von Nutzenfunktionen und Gesamtnutzenfunktionen aussehen könnte. Als Beispiel wird die Ermittlung folgender Gesamtnutzenfunktion betrachtet:

$$u_{ges} = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2)$$

Einen Überblick welche Arten von Aussagen der Entscheider zur Definition seiner Gesamtnutzenfunktion treffen kann und welche Informationen daraus für die Gesamtnutzenfunktion resultieren gibt Tabelle 10.

Auf der Basis dieser Informationstypen muß durch das System die Gesamtnutzenfunktion, d.h. die Abwägungsparameter und die Nutzenfunktionen über die Einzelkriterien, bestimmt und in einem Funktionsnetzwerk dargestellt werden. Dabei ist zu beachten, daß die Informationen z.T. redundant sind. Dies bedeutet, daß die Angaben der Personen nur in den seltensten Fällen konsistent sein werden. Deshalb muß ein Mittelungsprozeß stattfinden, der Entscheider auf besonders inkonsistente Angaben hingewiesen werden und die Auswirkungen einer Aussage auf die anderen berechnet werden (Bsp.: Aus der Aussage, die zu der Nutzenfunktion $u_K(K) = (e^{0.02 \cdot K} - 1) / 0.02$ führte, folgt die Änderung der Trade-off-Rate um den Faktor 7.4).

Nr.	Aussageform	Information über u_{ges} (Beispiel)
1	Normierung	$u_1(x_1=0) = 0$
2	Steigung	$u_1'(x_1=0) = 1$
3	Verhältnis	$u_1(x_1=50) = 3 \cdot u_1(x_1=25)$
4	1D-Indifferenz	$u_1(x_1=100) - u_1(x_1=90) = u_1(x_1=25) - u_1(x_1=10)$
5	2D-Indifferenz	$u_{ges}(x_1=100, x_2=0) = u_{ges}(x_1=75, x_2=1)$
6	Trade-off ⁷⁴	$t(x_1=100, x_2=0.5)=40$
7	Lotterie	$u_1(x_1=62) = 0.5 \cdot u_1(x_1=40) + 0.5 \cdot u_1(x_1=80)$
8	Entscheidung ⁷⁵	$38 \leq t(x_1=100, x_2=0.5) \leq 42$

Tabelle 10. Informationsarten zur Bestimmung der Gesamtnutzenfunktion

Einen Überblick über die Struktur des Programmsystems zur Unterstützung der Erstellung von Gesamtnutzenfunktionen gibt Abb. 51. Die einzelnen Module sollen im folgenden näher erläutert werden.

- Das zentrale Modul des Systems dient zum Abgleich von Parametern. Berechnet werden können Stützpunkte bzw. Funktionsparameter von Nutzenfunktionen (s. Abb. 21. bzw. Abschn. 3.8., exponentielle Form, Parameter α) und Abwägungsparameter (s. 3.10.: k_j). Die entsprechenden Datenstrukturen sind in Funktionsnetzen enthalten. Die Parameter werden an die Aussagen zur Gesamtnutzenfunktion (s. Tab. 10.) angepasst, die mit Hilfe der Module 'Trade-off-Aussagen', 'Entscheidungsprobleme' und 'Risikoaussagen' definiert wurden. Die Ergebnisse dieses Anpassungsprozesses werden zum einen in den drei Definitionenmodulen angezeigt, zum anderen erfolgt eine graphische Darstellung der Ergebnisse in den Modulen 'Iso-utility-Diagramm' und 'u-r-Diagramm'.

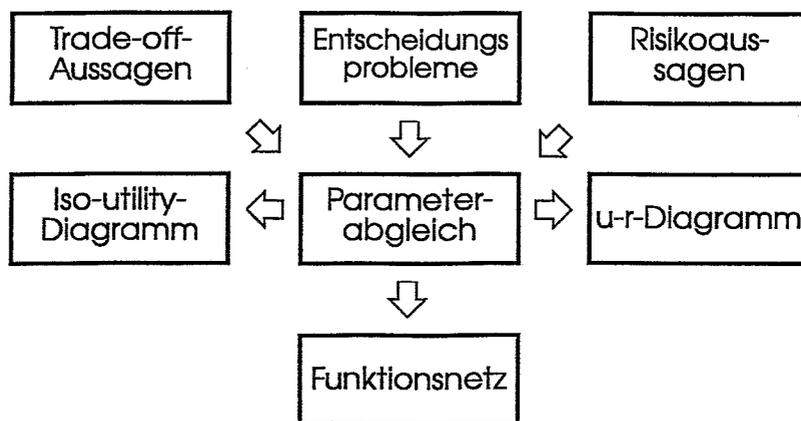


Abb. 51. Integriertes System zum Abgleich von Nutzenfunktionen und Abwägungsparametern

⁷⁴ Definition der Trade-off-Rate t : Es sei $u_{ges} = u_{ges}(x, y)$: $t := \frac{\partial x}{\partial y} \Big|_{u_{ges} = \text{const}}$

⁷⁵ Aus einer Entscheidung wie die in 6.4.4., Tab. 8. dargestellten, können Grenzen für die lokale Trade-off-Rate abgeleitet werden.

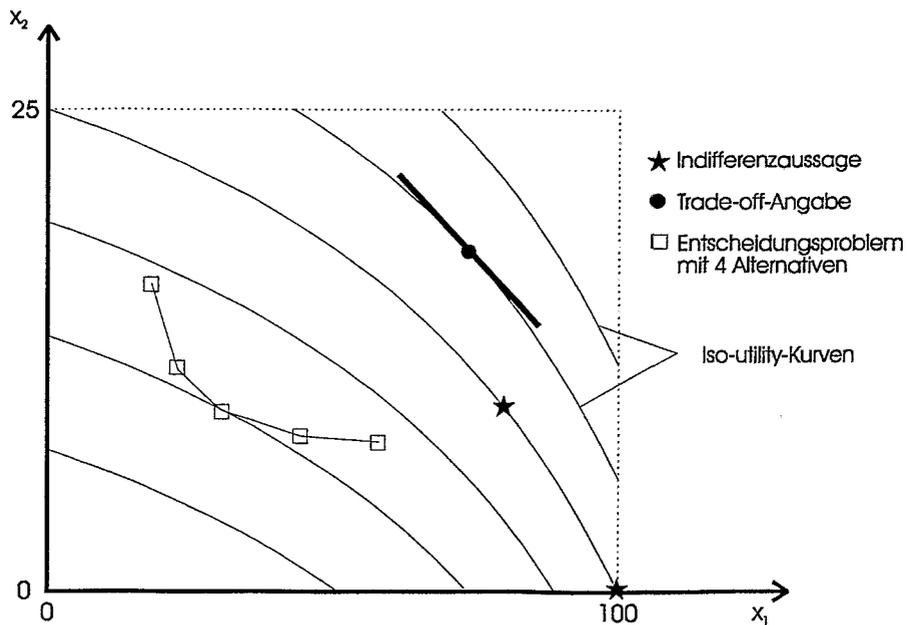


Abb. 52. Iso-utility-Modul: Schematische Darstellung von Iso-utility-Linien ($u_{ges} = \text{const}$) zusammen mit Aussagen (direkte Trade-off-Angaben, Indifferenzaussagen, Entscheidungsprobleme), die als Grundlage zur Berechnung der Gesamtnutzenfunktion u_{ges} verwendet wurden.

- Das Modul 'Trade-off' sollte in tabellarischer Form die Eingabe der Aussagetypen 5. und 6. (s. Tab. 10.) ermöglichen und die auf der Basis der angepaßten Parameter berechneten Aussagen gestatten. Zusammen mit dem 'Iso-utility-Modul', das die Darstellung von Iso-utility-Linien implementiert (s. Abb. 52.), wird damit der Funktionsumfang des Trade-off-Editors (s. 4.3.4.) abgedeckt. Wichtig ist die graphische Darstellung der im Trade-off-Modul getroffenen Aussagen (Trade-off-Angaben, Indifferenzaussagen) in dem Iso-utility-Diagramm um die Korrektheit des formalen Modells zu veranschaulichen.
- Das 'Entscheidungsmodul' sollte die in 6.4.4. beschriebene Vorgehensweise zur Ermittlung von Gesamtnutzenfunktionen durch mehrere, tabellarisch dargestellte Entscheidungsprobleme unterstützen. Wiederum erscheint es sinnvoll, die Entscheidungsprobleme auch im Iso-utility-Modul darzustellen (s. Abb. 52.), um die Verträglichkeit des formalen Modells mit den getroffenen Aussagen zu visualisieren.
- Das 'Risikomodul' dient zur Unterstützung der Erstellung von Nutzenfunktionen mit Blick auf die Darstellung des Risikoverhaltens (Aussagetyp 7., Tab. 10.) und nichtlinearer Präferenzen (Aussagetypen 3. und 4.). Ergänzend zu diesen drei Aussagetypen kann eine Normierung der Nutzenfunktion (Aussagetypen 1. und 2.) festgelegt werden. Die sich aus diesen Aussagen ergebende Nutzenfunktion wird durch das 'u-r-Modul' (s. Abb. 53.) dargestellt. Ein besonderes Problem bei der Erstellung von Nutzenfunktionen durch Risikoaussagen, das durch die inkrementelle Vorgehensweise noch verstärkt wird, ist das der Konsistenz der Aussagen: "Lassen sich die in Teilbereichen definierten Nutzenfunktionen in sinnvoller Weise zu einer, den gesamten Ergebnisbereich überdeckenden Nutzenfunktion zusammenfügen?". In diesem Zusammenhang erweist sich der Risikoparameter $r(x) = -u''(x)/u'(x)$ ⁷⁶ als nützlich (s. Keeney-93/). Aus Lotterien können lokale r-Werte

⁷⁶ Der Risikoparameter r ist ein von der Normierung der Nutzenfunktion unabhängiger Maßstab der Risikoaversion. Aus $r=0$ folgt Risikoneutralität; $r>0$ ist (bei steigender Präferenz für steigende x) äquivalent zu Risikoaversion.

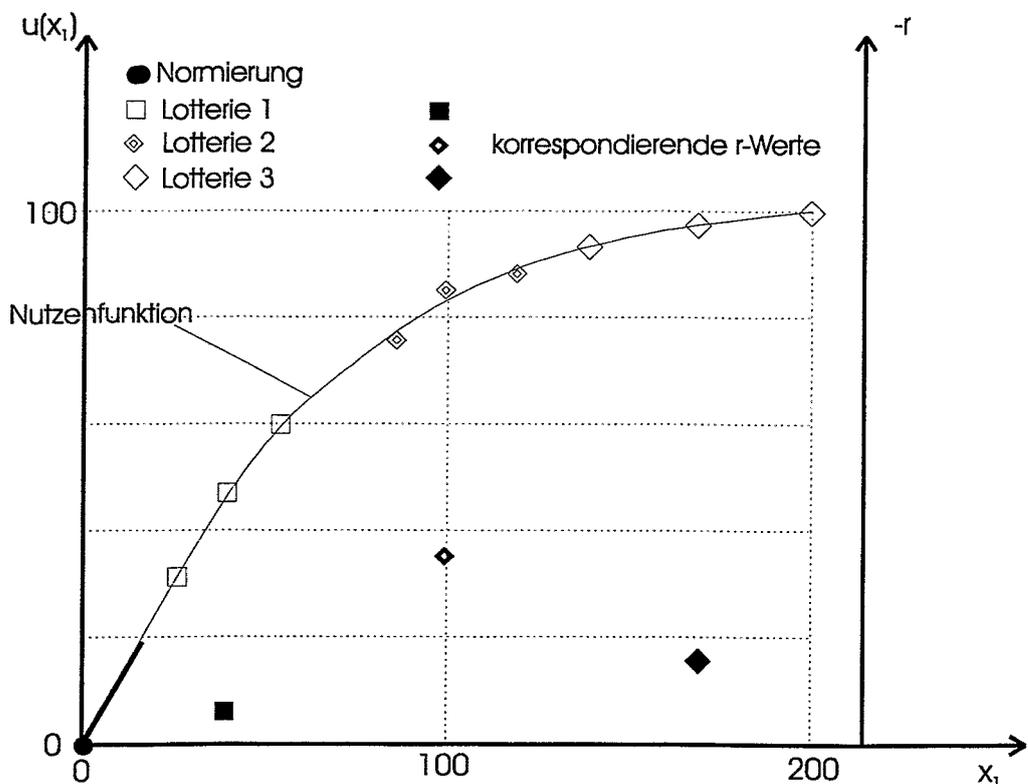


Abb. 53. u-r-Modul: Schematische Darstellung der berechneten Nutzenfunktion und der Angaben (Normierung, Lotterien) auf denen die Nutzenfunktion basiert. Aufgetragen (ohne Maßstab) sind zusätzlich die r-Werte, die sich aus den Lotterien ergeben. Bei steigender Präferenz für steigende x_1 stellt die Nutzenfunktion Risikoaversion dar.

berechnet werden, und damit inkonsistente Risikoaussagen identifiziert werden. Aus der Lotterienaussage $x_2 \approx [p: x_1; 1-p: x_3]$ folgt: $r\left(\frac{x_3 + x_1}{2}\right) \approx -2 \cdot \left(\frac{p}{x_3 - x_2} - \frac{1-p}{x_2 - x_1}\right)$. Dies läßt sich durch Einsetzen der Differenzenquotienten für $u'(x)$ und $u''(x)$ in $r(x) = -u''(x)/u'(x)$ unter Verwendung der Lotterienaussage $u(x_2) = p \cdot u(x_1) + (1-p) \cdot u(x_3)$ beweisen. In Abb. 53. sind für drei Lotterien jeweils die Punkte, $(x_1, u(x_1))$, $(x_2, u(x_2))$, $(x_3, u(x_3))$, $x_1 < x_2 < x_3$ und die r-Werte der drei Lotterien schematisch dargestellt. Man erkennt an den r-Werten, daß die Aussage zur Lotterie 2 ist im Vergleich zu den anderen zu risikoavers ist.

Wichtig ist insbesondere die dynamische Kopplung zwischen allen Modulen. Die Auswirkungen von Aussagen in einem Modul sind sofort in den anderen Modulen zu visualisieren. Erst damit können Inkonsistenzen (z.B. bei der Definition von lokalen Trade-off-Raten und Risikoentscheidungen) identifiziert und ein iterativer Abgleich der Nutzenfunktionen und Abwägungen stattfinden. Programme, die diese Funktionalität implementieren, sind geplant.

8.2. Hilfsmittel zur Präsentation der Ergebnisse

Bei öffentlichen Entscheidungen besteht im Gegensatz zu internen Entscheidungen ein sehr großer Bedarf an der Darstellung der Ergebnisse und Handlungshinweise. Die beteiligten Personen sind jedoch nicht in der Lage, selbständig eine Inspektion vorzunehmen, da dafür eine genaue Kenntnis des Entscheidungsmodells und der EA-Methodik notwendig ist. Somit müssen die abstrakten Ergebnisse des EA-basierten Entscheidungsmodells in verständliche Aussagen umgewandelt werden.

Der für den Anwendungsfall gewählte Ansatz, die Modellimplikationen durch den Projektbegleiter zu ermitteln und den Personen zu präsentieren, ist ein Weg, dieses Problem zu lösen. Bei diesem Ansatz kommen die Personen mit dem erstellten Entscheidungsmodell nicht direkt in Berührung. Er ist jedoch auch mit gewissen Nachteilen verbunden:

- Die Personen sind häufig nicht in der Lage, der Präsentation zu folgen. Die Gefahr der Überforderung ist sehr groß.
- Die Personen können sich nur mit dem Modell beschäftigen, wenn ein Projektbegleiter verfügbar ist. Ihnen wird somit die Möglichkeit genommen, intern die Begründungen nachzuvollziehen.
- Durch den Projektbegleiter werden die zu präsentierenden Informationen selektiert. Die Personen haben keine Kontrollmöglichkeit hinsichtlich Vollständigkeit, so daß Akzeptanzprobleme auftreten können.
- Das erstellte, computerbasierte Entscheidungsmodell ist für eine Weitergabe an Genehmigungsbehörden oder die Öffentlichkeit ungeeignet.

Deshalb erscheint es notwendig, Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, die die wichtigsten Ergebnisse des Modells übersichtlich darstellen. Es ist empfehlenswert, lediglich passive Analysen zur Verfügung zu stellen. Aktive Analysen sollten in jedem Fall nur in Zusammenarbeit mit dem Projektbegleiter durchgeführt werden.

Als besonders geeignet zur Darstellung passiver Analysen hat sich das Übersichtshilfsmittel (s. 4.3.4.) erwiesen. Dabei wurde sowohl von der Möglichkeit der Untersuchung hierarchischer Netzstrukturen als auch der Begründung von additiven Gesamtnutzergebnissen durch gewichtete Darstellung der Einzelkriterien im betrachteten Anwendungsfall reger Gebrauch gemacht. Insgesamt erscheint dieses Hilfsmittel zur Inspektion hierarchischer Abhängigkeiten hinsichtlich Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit ausreichend.

Probleme ergeben sich mit der gleichzeitigen Darstellung großer Informationsmengen (z.B. Ergebnisse aller Kriterien für alle Alternativen). Hier wäre eine weitere Komprimierung in Form einer tabellarischen Darstellung wünschenswert. Einige sinnvolle Darstellungsarten werden im folgenden als Anregungen aufgeführt.

1. Durch den Vergleich des Mittelwertes \bar{x} mit dem Sicherheitsäquivalent⁷⁷ \hat{x} können die Kriterien identifiziert werden, bei denen die Unsicherheiten und das Risikoverhalten wesentlich die Bewertung verändert haben. Eine gleichzeitige Darstellung von $k_i \cdot u_i(x_i)$ gibt

⁷⁷ Zur Definition von \hat{x} s. 3.2., Axiom 4.

(bei additiven Gesamtnutzenfunktionen, vgl. 3.4.) Auskunft, ob das Kriterium und damit auch seine Unsicherheit überhaupt von Relevanz ist.

In Tabelle 11. haben z.B. die Unsicherheiten bzgl. der 'Fixkosten' ($\pm 20\%$) des Sanierungskonzeptes 'Umlagerung' in Verbindung mit dem Risikoverhalten zu einem signifikanten Unterschied von \bar{x}_i und \hat{x}_i geführt. Da das Kriterium 'Fixkosten' einen wesentlichen Teil des Gesamtnutzen darstellt, waren die Kostenunsicherheiten wesentlich für das Bewertungsergebnis des Sanierungskonzeptes 'Umlagerung'. Die Unsicherheiten bzgl. der 'Laufenden Kosten' ($\pm 50\%$) haben infolge einer linearen Nutzenfunktion keinen Einfluß auf die Bewertung dieses Sanierungskonzeptes. Die Unsicherheiten auf dem Kriterium Dauerhaftigkeit sind wegen des geringen Gesamteinflusses des Kriteriums 'Arbeitsplätze' irrelevant.

Sanierungskonzept \Rightarrow \Downarrow Kriterium [Einheit]	k_i	Umlagerung			
		$x_{i,\min} - x_{i,\max}$	\bar{x}_i	\hat{x}_i	$k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$
Fixkosten [MDM]	1	80 - 120	100	110	119
Laufende Kosten [MDM/a]	40	1 - 2	1.5	1.5	68
Arbeitsplätze [Anzahl]	0.1	2-10	3.5	4.0	0.4

Tabelle 11. Tabellarische Darstellung der Ergebnisse zur Inspektion relevanter Unsicherheiten

- Die relative Relevanz der Kriterien innerhalb eines Sanierungskonzeptes kann durch die Gegenüberstellung von $k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$ bestimmt werden. Die Darstellung von $k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$ verschiedener Kriterien und Konzepte ermöglicht es zusätzlich, die Stärken und Schwächen von Konzepten herauszufinden. Tabelle 12. zeigt, daß sowohl der 'Monetäre Schaden' als auch der 'Umweltnutzen' für den Gesamtnutzen (hier reduziert auf die drei Kriterienbereiche, die mehrere Unterkriterien umfassen und deshalb keine Einheit mehr besitzen) wichtig sind. Unwichtig ist hingegen der 'Wirtschaftliche Nutzen'. Die Stärken und Schwächen der drei Varianten sind unmittelbar ersichtg.

Alternativen \Rightarrow \Downarrow Kriterien	Nullvariante $k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$	Basisabdichtung $k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$	Schlitzwand $k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$	Umlagerung $k_i \cdot \overline{u_i(x_i)}$
Monetärer Schaden \square	-15	-75	-80	-119
Wirtschaftl. Nutzen \square	4	12	12	20
Umweltnutzen \square	60.0	115	118	125
\bar{u}_{ges}^j \square	49	52	50	26

Tabelle 12. Tabellarische Darstellung der Ergebnisse zur Ermittlung relevanter Kriterien und spezifischer Stärken und Schwächen der Konzepte.

- Die Anzahl der zu betrachtenden Kriterien kann reduziert werden, indem die Ergebnisse aller Alternativen auf einem Kriterium vereinheitlicht werden (in Tabelle 13. die 'Laufenden Kosten' auf 0 MDM/a). Um die Gesamtbewertung nicht zu verändern, sind dazu die Ergebnisse auf einem zweiten Kriterium ('Fixkosten') entsprechend anzupassen ($\hat{x}_i \Rightarrow \hat{x}'_i$). Mittels dieser Umrechnung ist es möglich, die monetären Aspekte (abstraktes Kriterium) ausschließlich unter Betrachtung der angepaßten 'Fixkosten' (vorstellbares Kriterium, grau unterlegt) zu bewerten. Weiterhin können aus dem Vergleich von angepaßten Ergebnissen mit den ursprünglichen Werten Anregungen für die Verbesserung von Konzepten entnommen werden (z.B. entsprechen die 'Laufenden Kosten' des Sanierungskonzeptes 'Basisabdichtung' 35 MDM an 'Fixkosten' (112 MDM - 74 MDM). Dies bedeutet, für Maß-

nahmen zur Reduzierung der 'Laufenden Kosten' um den Faktor 2 (z.B. durch die Verwendung besseren Dichtmaterials) können ca. 17.5 MDM eingesetzt werden.

Alternativen ⇒ ↓ Kriterien	Nullvariante		Basisabdichtung		Umlagerung	
	\bar{x}_i	\bar{x}'_i	\bar{x}_i	\bar{x}'_i	\bar{x}_i	\bar{x}'_i
Fixkosten [MDM]	15	19	74	112	100	106
Laufende Kosten [MDM/a]	0.1	0	0.95	0	0.16	0
Monetäre Bilanz □	20.0	20.0	115.9	115.9	125.8	125.8

Tabelle 13. Umrechnung eines Kriteriums ('Laufende Kosten') auf ein anderes ('Fixkosten').

4. Das primäre Ergebnis der EA, Gesamtnutzenerwartungswerte \bar{u}_{ges}^j für alle Konzepte, beinhaltet zwar die Bewertungsabstände der Konzepte untereinander, jedoch werden diese durch ein abstraktes Maß, Differenzen in \bar{u}_{ges}^j , ausgedrückt und sind somit von den Entscheidern nicht direkt interpretierbar. Eine Umrechnung dieser Differenzen auf die Kriterien (z.B. die Kosten) vermittelt eine Vorstellung von den Abständen der Konzepte untereinander. Die in der Tabelle 14. grau unterlegten Kosten sind die Ergebnisse, die die Konzepte erreichen müßten, um eine gleichgute Bewertung wie das optimale Konzept (Basisabdichtung) zu erzielen.

Alternativen ⇒ ↓ Kriterien	Nullvariante		Basisabdichtung		Umlagerung	
	\bar{x}_i	\bar{x}'_i	\bar{x}_i	\bar{x}'_i	\bar{x}_i	\bar{x}'_i
Fixkosten [MDM]	15	12	74	74	100	78
\bar{u}_{ges}^j □	49	52	52	52	26	52

Tabelle 14. Umrechnung der Abstände im Gesamtnutzen auf Kostendifferenzen

5. Die Gegenüberstellung der Rangfolge der Konzepte aus Sicht verschiedener, beteiligter Parteien ermöglicht Aussagen zur Dominanz und Hinweise, bei welchen Konzepten ein großes Konfliktpotential zu erwarten ist. Z.B. ist aus Tabelle 15. zu entnehmen, daß das Konzept 'Schlitzwand' durchgehend schlecht bewertet wird, das Konzept 'Basisabdichtung' hingegen sehr gut. Die Varianten 'Nullvariante' und 'Umlagerung' werden sehr unterschiedlich bewertet. Die Suche nach einem konsensfähigen Konzept könnte sich deshalb auf Variationen der 'Basisabdichtung' konzentrieren.

Alternativen ⇒ ↓ Entscheider	Nullvariante		Basisabdichtung		Schlitzwand		Umlagerung	
	\bar{u}_{ges}	R	\bar{u}_{ges}	R	\bar{u}_{ges}	R	\bar{u}_{ges}	R
Land	120	2	135	1	95	4	110	3
Stadt	-75	4	23	2	22	3	84	1
Abfallverband	25	1	3	2	-5	3	-30	4

Tabelle 15. Rangfolgen R der Sanierungskonzepte aus Sicht verschiedener Interessengruppen

Eine Überprüfung, inwieweit die soeben beschriebenen Hilfsmittel die Akzeptanz der EA und ihrer Ergebnisse erhöhen können, steht ebenso wie eine computertechnische Umsetzung noch aus.

9. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, aus dem Spannungsfeld zwischen dem Anwendungsbereich Altlastensanierung und den Anforderungen der EA neue Erkenntnisse bezüglich der Anwendbarkeit der EA zu gewinnen. Hierzu wurden die potentiellen Verwendungsmöglichkeiten der EA im Altlastenbereich aufgezeigt, diese an einem Praxisfall erprobt und so Rückschlüsse auf erforderliche Randbedingungen der EA-Anwendung und Hinweise auf notwendige methodische und programmtechnische Erweiterungen der EA abgeleitet.

Aufbauend auf der für die Sanierungsentscheidung charakteristischen Problemstellung wurden zehn Anforderungen, vorwiegend technischer Natur, an Methodiken und Hilfsmittel definiert. Sie dienten als Leitlinien zur Auswahl geeigneter Systeme zur Entscheidungsunterstützung bei Sanierungsentscheidungen. Die Ergebnisse dieses Auswahlprozesses werden in den Punkten 1. bis 4. zusammengefaßt.

Zur Erprobung der EA in der Praxis wurde ein realer Altlastenfall, die Deponie Bergen bei Hoyerswerda, ausgewählt und die daran beteiligten Entscheidungsträger und viele Sanierungsfirmen und Gutachterbüros zur Mitarbeit gewonnen. Die vier Hauptphasen bei der Anwendung der EA auf den ausgewählten Sanierungsfall waren: Entwicklung von personenspezifischen Kriterienkatalogen, Erstellung und Quantifizierung von Sanierungskonzepten, Definition von personenspezifischen Gesamtnutzenfunktionen, Präsentation der Implikationen. Als Resultate dieser Phasen liegen neben den sanierungsfallbezogenen Ergebnissen, die für vorliegende Untersuchung sekundären Charakter haben, u.a. die wesentlichen, aufgetretenen Probleme und Vorteile der Anwendung der EA vor. Bei der Interpretation der Probleme muß differenziert werden zwischen Problemen, die spezifisch für die exemplarische Anwendung der EA und deshalb nicht für andere Anwendungsfälle von Relevanz sind, und generellen Problemen. Diese generellen Probleme, so sie nicht durch einfache Verfahrensänderungen behoben werden können, wurden im Kapitel 6. vertieft diskutiert und Lösungsansätze präsentiert. Die aus den Erfahrungen des Anwendungsfalles abgeleiteten Aussagen sind in den Punkten 5. bis 14. resümiert. Methodische Schwächen der EA sind in den Punkten 15. und 16. zusammengefaßt.

1. Die EA erfüllt die technischen Anforderungen, die an eine Unterstützung bei Sanierungsentscheidungen zu stellen sind.

Der wesentliche, technische Unterschied der EA zu anderen, entscheidungsunterstützenden Methodiken (Anspruchsniveaus, Kosten-Nutzen-Analyse) ist die umfangreiche Unterstützung der Abwägungen zwischen konfligierenden Zielsetzungen und die Berücksichtigung von unsicheren Informationen. Diese beiden Punkte sind insbesondere bei Sanierungsentscheidungen von Relevanz. Deshalb stellt die EA für diesen Anwendungsbereich unter technischen Gesichtspunkten die günstigste Methodik dar.

Ein Vergleich der Eigenschaften der EA mit den Anforderungen wie sie an eine entscheidungsunterstützende Methodik für Sanierungsentscheidungen zu stellen sind, ergab eine weitgehende Übereinstimmung. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, daß die EA zu einer Strukturierung der Entscheidungsfindung führt und wesentliche Hinweise auf sinnvolle Gutachten und Vorversuche liefern kann. Insgesamt bietet die EA technisch gesehen eine gute Ausgangsbasis für die Unterstützung komplexer Sanierungsentscheidungen.

2. Mit steigender Komplexität des Entscheidungsproblems sollte ein Übergang von wissensbasierten zu modellorientierten Hilfsmitteln erfolgen.

Neben der Methodik selbst sind auch die verwendeten Hilfsmittel bestimmend für den Erfolg einer Entscheidungsunterstützung. Deshalb wurden zwei gegensätzliche Ansätze untersucht. Dabei handelte es sich um 'Wissensbasierte Hilfsmittel', deren Kernelement eine Wissensbasis darstellt und um 'Modellierende Hilfsmittel', die auf die Erstellung eines fallspezifischen Entscheidungsmodells abzielen. Unter Zuhilfenahme der Anforderungen wurden Vor- und Nachteile beider Ansätze herausgearbeitet. 4.1.-4.2

Als Ergebnis kann festgestellt werden, daß der Einsatzbereich den vorteilhafteren Ansatz bestimmt. Während für kleinere Standardlasten die Wissensbasis eine schnelle, strukturierte und konsistente Bearbeitung ermöglicht und wertvolle Handlungshinweise geben kann, erweist sich diese infolge ihres grundsätzlich eher statischen Charakters als Hindernis bei der Erstellung eines fallspezifischen Entscheidungsmodells. Sie ist für komplexere Altlastentypen nicht mehr in der Lage, Informationen zu liefern, die nicht durch Ingenieurunternehmen ohnehin und gründlicher ermittelt werden. Gerade bei großen Altlastfällen steht die Einzelfallspezifik im Vordergrund. Dies bedeutet häufig, daß nicht ausschließlich aufgrund der Erfahrungen vorangegangener Altlastfällen entschieden werden kann, sondern neue, auf den spezifischen Anwendungsfall zugeschnittene Bewertungsansätze entwickelt werden müssen.

Für große Altlasten ist es deshalb vorteilhafter, keine wissensbasierten Hilfsmittel einzusetzen, sondern die Bearbeitung durch Werkzeuge zum Aufbau eines problemadäquaten Entscheidungsmodells zu unterstützen. Genau dies wird von modellorientierten Hilfsmitteln geleistet. Falls ein rein modellorientierter Ansatz (wie bei dem betrachteten Anwendungsfall) gewählt wird, verfügen die Hilfsmittel von den Entscheidungsmodellen vorangegangener Altlastenfälle abgesehen über keinerlei interne, fachliche Datenbasis. Der Prozeß der Vorauswahl technisch machbarer und rechtlich genehmigungsfähiger Sanierungsverfahren wird mit dem vorgestellten System somit nicht unterstützt. Es wird davon ausgegangen, daß entweder vorhandene (wissensbasierte) Ansätze dazu genutzt werden können, oder dieser Teilschritt durch Ingenieurbüros abgedeckt wird.

3. Funktionsnetzwerke stellen die geeignetste Basis zum Aufbau von Entscheidungsmodellen bei Sanierungsentscheidungen dar.

Für die EA wurden verschiedene, modellierende Hilfsmittel entwickelt, die die Erstellung von Entscheidungsmodellen gestatten. Von den drei untersuchten Ansätzen (Entscheidungs bäume, Influenzdiagramme, Funktionsnetzwerke) werden Funktionsnetzwerke den Anforderungen am besten gerecht. Herausragende Eigenschaften der Funktionsnetzwerke waren ihre intuitive Anschaulichkeit, die ausgeprägte Unterstützung multiattributiver Entscheidungen, die Möglichkeit zur Berücksichtigung vieler, unsicherer Eingangsgrößen und die Struktur, die man mit ihrer Hilfe dem Entscheidungsmodell geben kann. 4.3.

4. Mit Funktionsnetzwerken kann ein Entscheidungsmodell formuliert werden, das zu einer sinnvollen Strukturierung des Entscheidungsablaufes beiträgt.

Es ist zweckmäßig, das zu erstellende Entscheidungsmodell in einen Bewertungsteil und einen Quantifizierungsteil zu gliedern. Jedem Teil können bestimmte Bereiche der Funktionsnetzwerke zugeordnet werden. Durch diese Struktur werden die Aufgaben zwischen den beteiligten Entscheidern und Gutachtern klar getrennt. Die Entscheider müssen den Bewertungsteil des Entscheidungsmodells festlegen, die Gutachter die notwendigen Ein- 4.3.

gangsinformationen für den Quantifizierungsteil ermitteln. Durch diese klare Arbeitsteilung wird insbesondere die bei der derzeitigen Praxis häufig zu beobachtende Entscheidungsdelegation an die Gutachter vermieden. Sie ist zudem die Grundlage für personenspezifische Bewertungen, was für Mehrpersonenentscheidungen sehr wichtig ist. Aus den Erfahrungen des Anwendungsfalles (s. Punkt 14.) kann geschlossen werden, daß diese Aufteilung in der Praxis anwendbar ist.

Die Verwendung von Funktionsnetzwerken macht eine computertechnische Unterstützung unumgänglich. Die Schwerpunkte des dafür implementierten Programmsystems lagen insbesondere bei der Unterstützung der oben beschriebenen Struktur des Entscheidungsmodells sowie der Bereitstellung von Inspektions- und Präsentationshilfsmitteln. Die letzten beiden Schwerpunkte wurden speziell wegen des bei öffentlichen Entscheidungen sehr großen Erklärungsbedarfs gesetzt.

4.3.1.
-4.3.4.

5. Den beteiligten Personen kann kein ausreichendes EA-Know-how vermittelt werden, deshalb ist die Einführung eines Projektbegleiters unumgänglich.

Ein alle Phasen durchziehendes Hauptproblem ist, daß die beteiligten Personen weder über Kenntnisse der doch recht abstrakten Methodik der EA verfügen, noch daß diese im Laufe eines Sanierungsfalles vermittelt werden können. Der Übergang zu einfachen, problemreduzierenden Methodiken müßte durch gravierende Nachteile erkauft werden.

6.2.1.

Als Lösung wurde die Einführung eines Projektbegleiters vorgeschlagen, der vermittelnd zwischen dem problemadäquaten, mathematischen Entscheidungsmodell und den beteiligten Personen steht. Neben dieser Kernaufgabe kann der Projektbegleiter außerdem wesentlich zur Strukturierung der Entscheidungsfindung beitragen. Es ist an anderen Sanierungsfällen zu prüfen, inwieweit Ingenieurfirmen in der Lage sind, diese Rolle zu übernehmen.

6. Die Anwendbarkeit der EA bei Sanierungsentscheidungen erhöht sich bei wiederholter Verwendung.

Ungeachtet des Einsatzes eines Projektbegleiters muß eine Menge an entscheidungsanalytischem Know-how vermittelt und auch von den Personen akzeptiert werden. Insbesondere falls die beteiligten Personen aktiv an der Erstellung des Entscheidungsmodells mitwirken sollen, erscheint die Anwendung der EA auf einen Einzelfall eher problematisch, so daß stets die Einbettung in eine längerfristig ausgerichtete, fallübergreifende Organisationsstruktur angestrebt werden sollte, die für den Altlastensektor noch aufzubauen ist.

6.2.2.

7. Die Anwendung der EA ist auf kostenintensive Sanierungsfälle beschränkt.

Über das personelle Umfeld hinaus schränken auch altlastspezifische Rahmenbedingungen die Anwendung der EA ein. Der Aufbau eines problemadäquaten Entscheidungsmodells ist zeit- und kostenintensiv. Dieser Aufwand läßt sich nur rechtfertigen, falls die Vorteile aus einer gut vorbereiteten Entscheidung diese Nachteile kompensieren. Dies ist in der Regel lediglich bei Altlasten mit einem großen Sanierungsvolumen der Fall. Für mittlere und kleine Altlasten können erst dann Impulse erwartet werden, wenn sich an größeren Fällen standardisierte Strukturen des Entscheidungsmodells herausgebildet haben.

6.3.

8. Die Anwendung der EA setzt voraus, daß die derzeitige, durch Randbedingungen gesteuerte Entscheidungsfindung weitgehend reduziert wird.

Die derzeitige Praxis der Entscheidungsfindung bei Sanierungsfällen basiert wesentlich auf der Definition von Ausschluß- und Randbedingungen. Jede Interessengruppe versucht dabei, ihre spezifischen Anforderungen als Randbedingungen zu formulieren. Damit wird angestrebt, daß nur wenige, im Idealfall nur ein Sanierungskonzept, alle Anforderungen erfüllen. Falls anfangs aus verhandlungsstrategischen Gründen die Randbedingungen sehr restriktiv formuliert werden, verbleibt u.U. kein durchführbares Konzept. In diesem Fall muß der Planungsschritt unter gelockerten Randbedingungen erneut durchlaufen werden.

6.4.1.

Diese Planungsschleifen können durch die EA weitgehend vermieden werden, weil häufig Randbedingungen durch nichtlineare Präferenzen ersetzbar sind und weil deutlich erweiterte Möglichkeiten zur Behandlung komplexer Entscheidungsgegenstände zur Verfügung stehen. Für die beteiligten Entscheider ergibt sich jedoch durch die EA ein größerer Aufwand bei der Vorbereitung der Erstellung von Sanierungskonzepten. Wie aus dem Anwendungsfall hervorgeht, wird dieser angesichts der erweiterten Möglichkeiten und insbesondere der Strukturierung der Diskussion akzeptiert. Nicht so gut ist hingegen die Akzeptanz auf der Seite der planenden Unternehmen, da an sie erhöhte Anforderungen gestellt werden. Ihre derzeitige, auf Randbedingungen ausgerichtete Planungsstruktur muß dazu umgestellt werden.

9. Die Erstellung brauchbarer Kriterienkataloge gestaltet sich bei Sanierungsentscheidungen sehr schwierig und muß in einem fachlich und organisatorisch genau abgesteckten Rahmen erfolgen.

Bei der Erstellung der Kriterien muß beachtet werden, daß die beteiligten Personen sehr große Probleme bei der Umsetzung intuitiv wahrgenommener Vor- und Nachteile der Konzepte in konkrete Kriterien und Attribute haben. Für die Anwendung der EA bedeutet dies, daß man weder von vorhandenen Kriterien ausgehen kann, noch daß die Erstellung adäquater Kriteriensysteme ohne großen Aufwand während der Bearbeitung eines Sanierungsfalles durchführbar ist. Eine Lösung liegt neben der schon oben angesprochenen Einführung eines Projektbegleiters in der verstärkten Einbeziehung nicht direkt entscheidungsbeteiligter Personen in Verbindung mit einer fachlichen Aufteilung.

6.4.2.

Zahlreiche Probleme der Phasen 'Konzeptquantifizierung' und 'Bildung von Gesamtnutzenfunktionen' waren darauf zurückzuführen, daß die dort relevanten Ansprüche an die Kriterien während der Erstellung der Kriterien nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Der Ansatz, die Personen frei entscheiden zu lassen, welche Informationen und damit Kriterien sie für ihre Entscheidung zur Verfügung haben wollen, führte dazu, daß auch Informationen abgefordert wurden, die den Rahmen des wissenschaftlich Aussagbaren überstiegen. Da die Personen während der Kriteriendefinition noch keine Abwägungen treffen mußten, wurden einige Kriterien genannt, die im nachhinein während der Phase der Gesamtnutzendefinition als politisch nicht durchsetzbar oder als irrelevant ausgeschlossen wurden.

Die strikte Trennung von Kriteriendefinition und Quantifizierung / Abwägung kann deshalb nicht empfohlen werden. Vielmehr muß vor der eigentlichen Quantifizierung in Zusammenarbeit mit Ingenieurfirmen die prinzipielle Quantifizierbarkeit geprüft werden. Weiterhin sollte nach der Kriteriendefinition schon vorab die Abwägung zu anderen Kriterien getestet und eventuelle Randbedingungen, die die zulässigen Ergebnisse einschränken, definiert werden. Für eine erneute Anwendung der EA auf andere Altlastenfälle sollte

deshalb eine andere Organisationsstruktur bei der Kriterienerstellung gewählt werden. Notwendig erscheint zudem eine grundlegende Definition der relevanten Kriterien und Randbedingungen durch die zuständigen Fachbehörden.

10. Bei Sanierungsentscheidungen führt die personelle Trennung von Entscheidung und Konzepterstellung zu einem Informationsproblem. Wettbewerbsorientierte Ansätze könnten hier sinnvoll eingesetzt werden.

Bei Sanierungsentscheidungen ist eine personelle Trennung zwischen Entscheidung und Erstellung von Sanierungskonzepten festzustellen. Die beiden Personengruppen haben dabei z.T. unterschiedliche Interessenlagen. Aus Sicht der Entscheider ergibt sich somit das Problem, zu Sanierungskonzepten mit verlässlichen Daten zu gelangen. Die aktuelle Praxis im Altlastensektor ist, eine Firma mit der Planung von Sanierungskonzepten zu beauftragen. Damit wird das Informationsproblem jedoch nicht grundlegend gelöst, da eine Firma kaum über aktuelle und detaillierte Informationen zu allen verfügbaren Sanierungsverfahren verfügen kann. Insbesondere die Verwendung von Voranfragen bei Sanierungsfirmen durch die planende Firma zwecks Ermittlung aktueller Preise erscheint wegen einer möglichen Wettbewerbsverzerrung bei Bekanntwerden der Angaben und wegen einem vitalen Interesse der Sanierungsfirmen an der Akquisition von Aufträgen äußerst problematisch und sollte daher die Ausnahme sein.

6.4.3.

Auch für den Altlastensektor gilt die Regel, daß verlässliche Informationen einen Wert haben und deshalb bezahlt werden müssen. Eine Möglichkeit, diese Informationen zu erhalten, könnte die Ausrichtung eines öffentlichen Planungswettbewerbes sein, in dem Planungsaufträge vergeben werden. Diese wettbewerbsorientierte Vorgehensweise hat den Vorteil, daß aktuelle Informationen verfügbar werden und die Kreativität der Sanierungsfirmen zur Erstellung von Sanierungskonzepten genutzt wird. Als Nachteile sind die erhöhten Aufwendungen zur Vorbereitung und Auswertung des Wettbewerbes anzusehen. Es wäre methodisch sehr aufschlußreich, diesen Ansatz auf einen Praxisfall anzuwenden.

11. Die Verwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Darstellung von Unsicherheiten erweist sich als nützlich und wird akzeptiert.

Unsicherheiten in den Informationen können bei Sanierungsentscheidungen nicht vermieden werden. Die Genauigkeit der Aussagen wird beschränkt durch technische Grenzen und durch den Verhältnismäßigkeitsgrundsatz. Es zeigte sich, daß die explizite Darstellung von Unsicherheiten durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen insbesondere auf der Seite der Anbieter und Gutachter begrüßt wird. Schwierigkeiten ergeben sich, wenn nicht-quantifizierbare Informationen angefordert werden. Dies kann z.B. bei schlecht definierten Kriterien (s.o.) der Fall sein. Die Akzeptanz auf der Entscheiderseite ist verständlicherweise zunächst gering. Dennoch kann durch Erläuterungen Einsicht in die Notwendigkeit des Umganges mit unsicheren Informationen erzeugt werden, so daß letztendlich die Kenntnis von Ergebnisspannbreiten als Informationsgewinn verstanden wird.

5.3.5.1.

12. Nutzenfunktionen werden zur Behandlung von Risikoentscheidungen innerhalb gewisser Grenzen akzeptiert.

Die bei Sanierungsentscheidungen beteiligten Personen sind bereit, Risikoentscheidungen zu treffen. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Ergebnisspannbreiten nicht zu groß werden. Falls die Akzeptanzschwelle überschritten wird, lehnen die Personen eine Entscheidung grundsätzlich ab, verweisen auf weitere Gutachten bzw. sortieren die unsichere

5.3.5.2.

Alternative aus. Während anfangs lediglich schmale Intervalle akzeptiert werden, die im Prinzip für die Entscheidung vernachlässigt werden könnten, können Erläuterungen diese auf praxisrelevante Spannbreiten ausdehnen. Die Formalisierung des Risikoverhaltens durch Nutzenfunktionen und die Entscheidung auf der Basis des Nutzenerwartungswertes kann den Personen durch das Aufzeigen der Nebeneffekte (Bewertungsabschlag für unsichere Konzepte, Änderung der Trade-off-Raten, sinnvolle Ergebnisse bei Variation des Risikoverhaltens) soweit plausibel gemacht werden, daß sie akzeptiert wird. Ein echtes Verständnis der dahinterliegenden, mathematischen Annahmen kann (gemäß Punkt 5.) nicht erwartet werden.

13. Die Erstellung von individuellen Gesamtnutzenfunktionen wird durch Akzeptanzprobleme und fehlende, quantitative Präferenzstrukturen bei den Entscheidern erschwert.

Neben mangelnden, methodischen Kenntnissen der Entscheider (s. Punkt 5.) erschwert häufig ein Mißtrauen der Entscheider gegenüber formalen Methodiken und fehlende, quantitative Präferenzstrukturen für Ergebnisse auf den Kriterien die Erstellung der individuellen Gesamtnutzenfunktionen.

6.4.4.

So kann primär nicht erwartet werden, daß der Ansatz akzeptiert wird, auf der Basis eines Gesamtindikators, gebildet durch gewichtete Zusammenfassung der Einzelkriterien, zu entscheiden. Auch die Argumentationskette 'Kriterienkonflikte sind unvermeidbar, deswegen müssen Abwägungen vorgenommen werden.' reicht in der Regel nicht aus, um die Personen von der Notwendigkeit expliziter Abwägungen zu überzeugen. Sind die beteiligten Personen jedoch bereit, in multiattributiven Problemstellungen zu entscheiden, kann dies zur indirekten Konstruktion einer Gesamtnutzenfunktion genutzt werden. Die Demonstration der Konformität dieser Funktion mit den getroffenen Entscheidungen erhöht die Akzeptanz signifikant und stellt einen sinnvollen Ausgangspunkt dar, um mit den Personen über die Angemessenheit des EA-Ansatzes zu diskutieren.

Die Entscheider bei Sanierungsfällen verfügen häufig a-priori nicht über quantitative Präferenzstrukturen auf den Kriterienergebnissen. Den Personen muß deshalb Gelegenheit gegeben werden, diese herauszubilden. Dieser Prozeß kann wirksam durch die Präsentation von einfachen Entscheidungsproblemen unterstützt werden. Dabei muß beachtet werden, daß die Personen zuerst versuchen, durch die Definition von Randbedingungen die Problemkomplexität reduzieren. Die Konfrontation mit mehreren, gleichartigen Problemen kann dazu führen, daß die Personen selbständig zu einer Entscheidung auf der Basis von Verhältnismäßigkeiten übergehen. Erst danach kann mit den EA-typischen Fragen zur Gesamtnutzenfunktion begonnen werden.

8.1.

Falls die Erstellung einer Gesamtnutzenfunktion unter Beachtung aller einschränkenden Rahmenbedingungen erfolgt, empfinden die Entscheider diesen Prozeß als gewinnbringend, weil sie Gelegenheit erhalten, ihre eigenen Präferenzen zu strukturieren. Auch wurde die Formalisierung zur Vorbereitung von Konsensdiskussionen begrüßt. Für die Akzeptanz formaler Methoden ist es sehr wichtig, daß die Entscheider die Verwendung ihrer Aussagen kontrollieren können. Insbesondere die ungerechtfertigte Übertragung auf andere Sanierungsfälle muß (soweit wie möglich) verhindert werden.

14. Die Ergebnisse der EA müssen in Informationen und Handlungsempfehlungen münden, aus denen die beteiligten Personen Vorteile der EA-Anwendung erkennen können.

Die Anwendung der EA zur Entscheidungsunterstützung ist ein langwieriger Prozeß, der viel Aufwand erfordert. Das primäre Ergebnis dieses Prozesses, die Erwartungswerte der Gesamtnutzenfunktionen, sind für die beteiligten Personen abstrakt und unverständlich. Deshalb muß basierend auf diesen Primärergebnissen eine Inspektion des Entscheidungsmodells und eine Ableitung von verständlichen Informationen und plausiblen Handlungshinweisen vorgenommen werden. Erst wenn sie diese Hinweise verstehen und akzeptieren, sind die Personen auch in der Lage, Vorteile der EA-Anwendung zu erkennen. Aus diesem Grunde ist gerade die Phase der Ergebnispräsentation für öffentliche Entscheidungen von großer Bedeutung.

6.5.

Es reicht nicht aus, daß den Personen die Informationen indirekt, durch die Vermittlung des Projektbegleiters zugänglich sind, weil dadurch wichtige, gruppeninterne Prozesse nicht ablaufen können, sondern die Gesamtergebnisse müssen zumindest in Teilen soweit vereinfacht werden, daß sie auch ohne die Unterstützung des Projektbegleiters zugänglich sind. Die Entwicklung diesbezüglicher, programmtechnischer Hilfsmittel wäre sehr sinnvoll.

8.2.

15. Bei Sanierungsentscheidungen können komplizierte Handlungsstrukturen auftreten, die mit herkömmlichen EA-Techniken nur schwer darstellbar sind.

Die prinzipielle Durchführbarkeit von Sanierungstechniken kann häufig nicht im voraus abgeschätzt werden. Neben technischen Gründen können insbesondere auch genehmigungsrechtliche Probleme die Durchführung von Sanierungskonzepten nach erfolgter Planung verhindern. Die dabei auftretenden Handlungsstrukturen sind zwar im Prinzip durch Entscheidungsbäume darstellbar, jedoch können die auftretenden (unvollständigen) Rekursionen zu nicht mehr darstellbaren Baumstrukturen führen. Die vor der eigentlichen Sanierungsmaßnahme in der Regel durchgeführten Feldversuche liefern ein sehr komplexes Informationsspektrum, so daß diese mit gewöhnlichen Informationswertabschätzungen nicht erfaßt werden können. Beide Problembereiche können mit rekursiven Handlungsnetzwerken, die das Entscheidungsbaumkonzept erweitern, besser dargestellt und effektiv berechnet werden. Diese sollten nach einer programmtechnischen Implementation getestet werden.

7.1.

16. Bei der Sanierungsentscheidung handelt es sich nicht um eine scharfe Konkurrenzsituation. Konfligierende Interessen müssen trotzdem Berücksichtigung finden.

Die Anreize zur Konsensfindung sind für alle an Sanierungsentscheidungen beteiligten Parteien sehr stark und es existieren vielfältige Möglichkeiten, die Handlungsalternativen in Richtung eines gerechten Schaden-Nutzen-Ausgleichs abzustimmen (z.B. Finanzierungsmodell). Trotzdem sind grundlegende Interessenkonflikte vorhanden, so daß die Erzielung eines totalen Konsenses im Form einer gemeinsamen Gesamtnutzenfunktion aller Personengruppen unrealistisch ist. Da die Einigung auf ein Sanierungskonzept ausreichend ist, muß dieser auch nicht notwendigerweise angetrebt werden. Mit der vorgestellten Struktur eines Entscheidungsmodells lassen sich verschiedene Interessenlagen in einem gemeinsamen Modell darstellen. Empfehlenswert wären zusätzliche Werkzeuge zur Identi-

7.2.

fizierung der Ursachen von Interessenkonflikten und zur Unterstützung der Konsensfindung durch einfache Variierbarkeit von (Bewertungs-)Modellen und Konzepten.

Sanierungsentscheidungen stellen ein äußerst heikles, im Grenzbereich liegendes Anwendungsfeld für die EA dar. Viele Faktoren können zu einem Scheitern der Entscheidungsunterstützung führen. Die Vorgehensweisen aus anderen Anwendungsbereichen der EA lassen sich nicht unmittelbar für öffentliche Entscheidungen wiederverwenden. Die EA mit ihren hohen Anforderungen an die beteiligten Personen und ihrer expliziten Darstellung der Bewertungsstrukturen hat große Schwierigkeiten, sich an die oft schwammig geführten Diskussionen und eingefahrenen Bearbeitungsabläufe bei Sanierungsentscheidungen anzupassen.

Die potentiell großen Vorteile, die die Anwendung der EA verspricht, kommen erst dann zum Tragen, wenn die Bearbeitungsabläufe an die durch die EA vorgegebene Handlungsstruktur angepaßt werden, und die Personen bereit sind, ihre eigenen Entscheidungsmuster zu überdenken und in den EA-Rahmen einzupassen. Das dieses Ziel mit geeigneten Organisationsstrukturen und EA-Techniken erreichbar ist, hat der Anwendungsfall Deponie Bergen gezeigt.

Literaturverzeichnis

- ASK-92 Arbeitsgruppe Stadtplanung und Kommunalbau (1992): *Rahmenplan: Erholungsgebiet Senftenberger See*, Zweckverband Erholungsgebiet Senftenberger See, Senftenberg, interner Bericht
- Bell-75 Bell, D.E. (1975): *A utility function for time streams having interperiod dependencies*, IIASA RR-75-22, Laxenburg
- Bracke-92 Bracke, R. et.al. (1992): *Entwicklung einer Systematik zur Kostenermittlung bei der Altlastensanierung - KOSAL - Abschlußbericht*, Arbeitsgemeinschaft Focon Ingenieurgesellschaft mbH und TÜV Rheinland, Aachen
- Brown-78 Brown, R.V. (1978): Heresy in decision analysis: Modeling subsequent acts without rollback, *Decision Sciences*, **9**, p. 543-554
- Brown-89 Brown, R.V. (1989): Toward a prescriptive science and technology of decision aiding, *Ann. Op. Res.*, **19**, p. 467-483
- Call-90 Call, H.J., und Miller, W.A. (1990): A comparison of approaches and implementations for automating decision analysis, *Rel. Eng. Sys. Sav.*, **30**, p. 115-162
- Camerer-92 Camerer, C. und Weber, M. (1992): Recent developments in modeling preferences: uncertainty and ambiguity, *J. Risk Uncert.*, **5**, p.325-270
- Cohen-80 Cohen, B.L. (1980): Society's valuation of life saving in radiation protection and other contexts, *Health. Phys.*, **38**, p. 33-51
- Corner-91 Corner, J.L., und Kirkwood, C.W. (1991): Decision analysis applications in the operations research literature 1970-1989, *Op. Res.*, **39**, p. 206-219
- Eisenführ-93 Eisenführ, F. und Weber, M. (1993): *Rationales Entscheiden*, Springer, Berlin
- Fang-93 Fang L., Hipel, K.W. und Kilgour, D.M. (1993): *Interactive decision making: The graph model for conflict resolution*, Wiley, New York
- Farmer-87 Farmer T.A. (1987): Testing the robustness of multiattribute utility theory in an applied setting, *Decision Sciences*, **18**, p. 178-193
- Farquhar-75 Farquhar P.H. (1975): A fractional hypercube decomposition theorem for multiattribute utility functions, *Op. Res.*, **25(5)**, p. 941-967
- Fietkau-94 Fietkau, H.-J. (1994): *Leitfaden Umweltmediation*, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, FS II 94-323
- Fishburn-74 Fishburn, P.C. und Keeney, R.L. (1974): Seven independence concepts and continuous multiattribute utility functions, *J. Math. Psych.*, **11**, p. 294-327

- Fishburn-75 Fishburn, P.C. und Keeney, R. L. (1975): Generalized utility independence and some implications, *Op. Res.*, **23**, p. 928-940
- Fishburn-88 Fishburn, P.C. (1988): *Nonlinear preference and utility theory*, Wheatsheaf Books, Brighton
- Gehrke-93 Gehrke, D. (1993): *Die Entwicklung von Sanierungskonzepten für Altstandorte*, VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 4: Bauingenieurwesen, Nr. 122, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
- Haimes-90 Haimes, Y.Y., Li, D. und Tulsiani, V. (1990): Multiobjective decision-tree analysis, *Risk Analysis*, **10(1)**, p. 111-129,
- Hong-93 Hong, Y. und Apostolakis, G. (1993): Conditional influence diagrams in risk management, *Risk Analysis*, **13(6)**, p. 625-636
- Howard-89 Howard, R.A. und Matheson, J.E. (1989): *Readings on the principles and applications of decision analysis*, Strategic Decisions Group, Menlo Park, Calif.
- Huber-74 Huber, G.P. (1974): Methods for quantifying subjective probabilities and multiattribute utilities, *Dec. Sc.*, **5**, p. 430-458
- Jae-92 Jae, M. und Apostolakis, G. (1992): The use of influence diagrams for evaluating severe accident management strategies, *Nucl. Tech.*, **99**, p. 142-157
- Kalos-93 Kalos, G. (1993): Blinder Eifer schadet nur, *Altlasten*, **2**, p. 23-25
- Keeney-75 Keeney, R.L. (1975): *Energy policy and value tradeoffs*, IASA RM-75-76, Laxenburg
- Keeney-80 Keeney, R. L. (1980): *Siting energy facilities*, Academic Press, London
- Keeney-82 Keeney, R.L. (1982): Decision analysis: An overview, *Op. Res.*, **30(5)**, p. 803-838
- Keeney-84 Keeney, R.L., Renn, O., von Winterfeldt, D. und Kotte, U. (1984): *Die Wertbaumanalyse - Entscheidungshilfe für die Politik*, High-Tech-Verlag, München
- Keeney-88 Keeney, R.L. (1988): Building models of values, *Europ. J. Op. Res.*, **37**, p. 149-157
- Keeney-91 Keeney, R.L. (1991): Eliciting probabilities from experts in complex technical problems, *IEEE Trans. Eng. Manag.*, **38(3)**, p. 191-201
- Keeney-93 Keeney, R.L., und Raiffa, H. (1993): *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*, Wiley, New York
- Keeney-95 Keeney, R.L. (1995): *Value focused thinking*, Cambridge University Press, Cambridge
- Keller-88 Keller, L.R., und Ho, J.L. (1988): Decision problem structuring: Generating options, *IEEE Trans Sys. Man Cyb.*, **18(5)**, p. 715-728

- LAWA-79 Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1979): *Leitlinien zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen in der Wasserwirtschaft*, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Stuttgart
- LfU-94 LfU Baden-Württemberg (1994): *Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen, Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung*, LfU BW, Karlsruhe
- Luckner-96 Luckner et.al. (1996): *Sanierungskonzept der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in den Bergbaufolgelandschaften der Niederlausitz*, Hrsg. LMBV, Berlin, Dresden
- Machina-82 Machina, M.J. (1982): Expected utility analysis without the independence axiom, *Econometrica*, 50(2), p. 277-323
- Merkhofer-87 Merkhofer, M.W. (1987): Quantifying judgmental uncertainty: Methodology, experiences and insights, *IEEE Trans. Sys. Man Cyb.*, 17(5), p. 741-752
- Morgan-90 Morgan, M.G. (1990): *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*, Cambridge University Press, Cambridge
- Neteler -95 Neteler Th. (1995): *Bewertungsmodell für die nutzungsbezogene Auswahl von Verfahren zur Altlastensanierung*, Institut für Grundbau, Heft 23, Uni Bochum
- Ng-90 Ng, K.-C. und Abramson, B. (1990): Uncertainty management in expert systems, *IEEE Expert, April*, p. 29-47
- Nowak-96 Nowak, E. (1996): *Eine Methode zur vergleichenden Bewertung von Bodensanierungsverfahren bei der Sanierungsvorplanung von Altstandorten*, Dissertation, TU Dresden, eingereicht
- Pearl-88 Pearl, J. (1988): Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA
- Press-92 Press, W.H. et. al. (1992): *Numerical Recipes*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge
- Quiggin-93 Quiggin, J. (1993): *Generalized expected-utility theory*, Kluwer Academic Publ., Boston
- Rahrbach-93 Rahrbach, A. et.al. (1993): Konfliktminderung bei der Altlastensanierung, *Altlasten-Spektrum*, 1/93, p. 17-30
- Raiffa-68 Raiffa, H. (1968): *Decision Analysis*, Addison-Wesley, MA.
- Raiffa-73 Raiffa, H. (1973): *Einführung in die Entscheidungstheorie*, R. Oldenbourg Verlag, München
- Raiffa-82 Raiffa, H. (1982): *The art and science of negotiation*, Cambridge, Mass.
- RSU-1989 Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1995): *Sondergutachten Altlasten*, Metzler-Poeschel, Stuttgart

- RSU-1995 Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1995): *Sondergutachten Altlasten II*, Metzler-Poeschel, Stuttgart
- Ruf-95 Ruf, J. (1995): *Kriterien zur Festsetzung von Sanierungszielen*, Materialien zur Altlastenbehandlung 4/1995, Sächsisches Umweltministerium, Dresden
- Sarin-82 Sarin, R.K. (1982): Strength of preference and risky choice, *Op. Res.*, **30**, p. 982-987
- Schneider-96 Schneider, U. und Drechsler, J. (1996): *Diskussion von ausgewählten Sanierungskonzepten für ein an die Problematik der Deponie Bergen angelehntes Modellobjekt*, Regionaler Abfallzweckverband Oberlausitz-Niederschlesien, Görlitz, interner Bericht
- Selke-93 Selke, W. (1993): *Kommunales Altlastenmanagement - Eine umfassende Strategie gegen Altlasten für die Alltagspraxis*, F. Arendt (ed), Altlastensanierung '93, Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- Shachter-86 Shachter, R.D. (1986): Evaluating influence diagrams, *Op. Res.*, **34**, p. 871-882,
- Smith-92 Smith, A.E., et.al. (1992): The effect of neglecting correlations when propagating uncertainty and estimating the population distribution of risk, *Risk Analysis*, **12(4)**, p. 467-474
- SMU-93 Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (1993), *Altlasten: Rahmenkonzeption und Stand der Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen*, SMU, Dresden
- SMU-94 Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (1994): *Entwurf: "Rechtsverordnung des SMU über Maßnahmen und Abgaben zum Ausgleich von Eingriffen nach dem Sächsischen Naturschutzgesetz*, SMU, Dresden, unveröffentlicht
- TASi-93 (1993): *Technische Anleitung Siedlungsabfall : dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz; technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen*, Rehm-Verlag, München
- Tietz-83 Tietz, R. (1983): *Aspiration levels in bargaining and economic decision making*, Proc. 3rd Conf. Exp. Econ., Springer, Berlin
- Tversky-74 Tversky, A., und Kahneman, D. (1974): Judgement under uncertainty: Heuristics and Biases, *Science*, **185**, p. 1124-31
- Tversky-81 Tversky, A., und Kahneman, D. (1981): The framing of decisions and psychology of choice, *Science*, **211**, p. 453-458
- vanden Honert-95 vanden Honert, R.C. und Lootsma, F.A. (1995): *Negotiated resolutions to complex multiple-issue conflicts via multi-criteria decision analysis*, Rep. Faculty Tech. Math. Inf. 95-20, Delft
- von Neumann-47 von Neumann, J., und Morgenstern, O. (1947): *Theory of games and economic behaviour*, 2nd ed., Princeton University Press, Princeton

- von Weizsäcker-95 von Weizsäcker (1995): *Zeit und Wissen*, Carl Hanser, München
- von Winterfeldt-86 von Winterfeldt, D., und Edwards, W. (1986): *Decision analysis and behavioural research*, Cambridge University Press, Cambridge
- Zadeh-78 Zadeh, L. A. (1978): Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), p. 3-28
- Zarth-93 Zarth, M. (1993): *System zur Bewertung alternativer Sanierungsverfahren bei der Erstellung eines Sanierungskonzeptes*, F. Arendt (ed), Altlastensanierung '93, Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- Zimmermann-91 Zimmermann, H.-J. und Gutsche, L. (1991): *Multi-criteria Analyse*, Springer, Berlin

Anhang: Beispiel zur Berechnung des Wertes von Informationen

Im dem folgenden Beispiel, das die Berechnung des Wert zusätzlicher Informationen demonstriert, wird angenommen, daß als einziges relevantes Kriterium die Kosten zu betrachten sind und daß der Entscheider risikoneutral bezüglich der Kosten ist. Zusammen bedeutet dies, daß der Gesamtnutzererwartungswert einer Alternative gleich dem negativen ihres Kostenerwartungswertes ist ($\bar{u}_{ges} = -\bar{K}$)

Der Entscheider stehe vor der Wahl zwischen einer 'Umlagerung', die relativ hohe Kosten von ca. 18 MDM verursacht und der 'in-situ Bodenwäsche', die einen niedrigen Kostenerwartungswert um 15 MDM hat, jedoch im Versagensfall zu sehr hohen Kosten von 25 MDM führt (s. Abb. 1.).

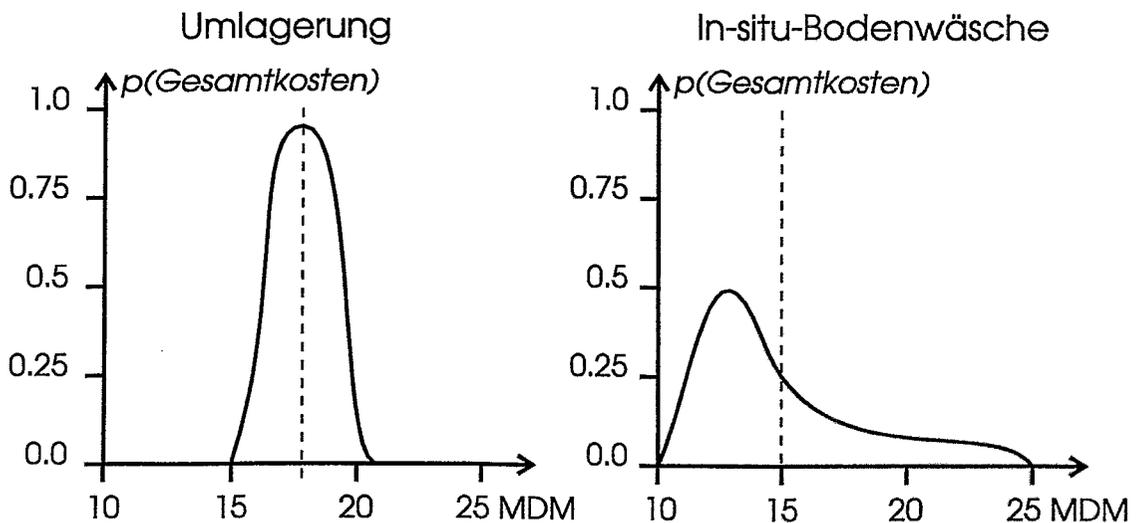


Abbildung 1. Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Kosten der Umlagerung und der in-situ-Bodenwäsche.

Die Ursache für die Kostenvarianz bei der Bodenwäsche ist die Unsicherheit über den zur Erreichung der Sanierungsziele notwendigen Waschzeitraum t_{Wasch} . Vereinfachend wird angenommen, daß dieser entweder ein Jahr oder fünf Jahre betragen kann. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kosten bei Kenntnis dieses Zeitraumes ist in Abb. 2. dargestellt. Bei niedrigem Zeitraum ($t_{Wasch} = 1a$) wäre die Bodenwäsche gegenüber der Umlagerung zu bevorzugen. Ein Vorversuch, der sichere Auskunft über den Zeitraum geben kann, kostet 1 MDM. Es stellt sich dem Entscheider nun die Frage, ob er diesen Vorversuch unternehmen soll, oder ob er besser aufgrund der derzeitigen Datenlage entscheidet. Diese Frage kann im Rahmen der EA durch Berechnung des Wertes der mit dem Vorversuch gewonnenen Information entschieden werden.

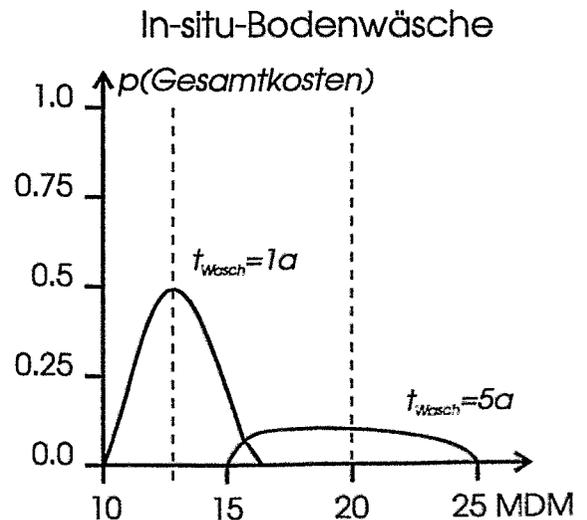


Abbildung 2. Kostenstruktur und dazugehöriger Kostenerwartungswert (gestrichelt) der in-situ-Bodenwäsche bei bekanntem Waschzeitraum.

Es wird angenommen:

$$\bar{K}_{Umlagerung} = 17.5 \text{ MDM},$$

$$\bar{K}_{BW}(t_{Wasch} \text{ unbekannt}) = 15 \text{ MDM}$$

$$\bar{K}_{BW}(t_{Wasch} = 1 \text{ a}) = 12.5 \text{ MDM},$$

$$\bar{K}_{BW}(t_{Wasch} = 5 \text{ a}) = 20 \text{ MDM}$$

$$p(t_{Wasch}=1 \text{ a})=2/3, p(t_{Wasch}=5 \text{ a})=1/3$$

die Kosten für den Vorversuch betragen ΔK

Der Nutzenerwartungswert einer Variante mit Vorversuch und anschließender Entscheidung über Umlagerung oder Bodenwäsche ergibt sich damit zu:

$$\begin{aligned}\bar{u}_{Versuch} &= \frac{2}{3} \max\{-12.5 - \Delta K, -17.5 - \Delta K\} \\ &\quad + \frac{1}{3} \max\{-20.0 - \Delta K, -17.5 - \Delta K\} \\ &= -14.17 - \Delta K\end{aligned}$$

Der Nutzenerwartungswert der ursprünglichen Entscheidungssituation war:

$$\bar{u}_{keinVersuch} = \max\{-15, -17.5\} = -15$$

Mit $\bar{u}_{keinVersuch} = \bar{u}_{Versuch}$ folgt: $\Delta K=0.83$. Dieses Ergebnis bedeutet, daß bis zu 0.83 MDM für den Vorversuch gezahlt werden sollten, um die Information über den notwendigen Waschzeitraum der in-situ-Bodenwäsche zu erhalten.

Hiermit möchte ich Herrn Prof. Wolf Häfele für seine Anregungen danken, die wesentlich gewesen waren für die Initiierung und Ausrichtung dieser Arbeit in das mir bis dato unbekannte Gebiet der Entscheidungsanalyse.

Wesentliche wissenschaftliche Anstöße und Kritikpunkte für diese Arbeit ergaben sich aus zahlreichen und langandauernden Diskussionen mit den Professoren Wulf Albers, Rudolf Avenhaus und Frank-Peter Weiß. Diese trugen in großem Umfang zur Qualität und Seriosität der Arbeit bei.

Dr. Wolfgang Ferse war immer zur Stelle, wenn die Arbeit ins Stocken geriet, und brachte sie durch seine Ideen und Eloquenz wieder in Fahrt und auf Kurs.

Frau Ute Schneider, Herrn Jens Drechsler und Dr. Annette Polte möchte ich für ihr geduldiges, kreatives und emsiges Wirken im Zusammenhang mit dieser Arbeit danken. Ihre Anmerkungen brachten mich oft vom entscheidungsanalytischen Himmel auf den harten Boden der ingenieurtechnischen Tatsachen zurück und trugen wesentlich zur Praxisrelevanz und Verständlichkeit der Arbeit bei.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen benötigte ich die Zuarbeit vieler Mitarbeiter und Wissenschaftler aus sächsischen Behörden, Abfallzweckverbänden, Ingenieurbüros und Universitäten. Diese stellten mir rückhaltlos ihre kostbare Arbeitszeit zur Verfügung, beantworteten meine unbequemen, für sie oftmals unverständlichen Fragen nach bestem Wissen und Gewissen und schufen damit unwissentlich das Fundament dieser Arbeit.

Danken möchte ich schließlich den zahlreichen Mitarbeitern des Forschungszentrums Rossendorf und des Vereins für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf, die stets ein angenehmes, ablenkungsreiches Arbeitsklima schufen.

Diese Arbeit widme ich meinem Bruder.

Hiermit versichere ich, daß ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützung von folgenden Personen erhalten:

- Dr. Wolfgang Ferse
- Frau Ute Schneider
- Herr Jens Drechsler
- Frau Dr. Annette Polte

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines kommerziellen Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir keine geldwerten Leistungen für Arbeiten erhalten, die in Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch nicht veröffentlicht worden.

Hiermit erkenne ich die Promotiosordnung vom 9. August 1994 der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden an.

Dresden, den 18.2.97

