



Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung

**Methode:
PROMETHEE**

Lehrstuhl für Produktion und Logistik

Prof. Dr. Jutta Geldermann
Nils Lerche

Stand: Januar 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele und Inhalt des Leitfadens	2
2	Entscheidungstheoretische Grundlagen - Was ist die Idee hinter MCDA-Methoden?	4
2.1	Der strukturierte Entscheidungsprozess und Bestandteile von Entscheidungsproblemen	4
2.2	Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung . . .	9
2.3	Software zur Anwendung von MCDA-Methoden	13
3	Durchführung von MCDA-Methoden - Umsetzung in der Praxis	15
3.1	Einzelne Schritte der Durchführung von MCDA-Methoden . . .	15
3.1.1	Definition des Entscheidungsproblems	17
3.1.2	Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen	20
3.1.3	Ermittlung des Zielsystems	22
3.1.4	Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie	24
3.1.5	Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion	28
3.1.6	Bestimmung der Kriterienausprägungen für die einzelnen Alternativen	31
3.1.7	Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung	33
3.1.8	Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge	40
3.1.9	Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse	44
3.2	Berücksichtigung von Ungewissheit, Risiko und Unschärfe	48
4	Die Methode PROMETHEE	53
4.1	Eigenschaften und die Idee hinter PROMETHEE	53
4.2	Die Anwendung von PROMETHEE und dessen spezifische Anforderungen	54
4.2.1	Festlegung und Definition der Präferenzfunktionen	55
4.2.2	Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung	61
4.2.3	Bestimmung der Outranking-Relationen	61
4.2.4	Berechnung der Aus- und Eingangsflüsse	62
4.2.5	Aggregation und Auswertung nach PROMETHEE I und II	63
4.3	Interpretation der GAIA-Ebene	65

1 Ziele und Inhalt des Leitfadens

Dieser Leitfaden hat zum Ziel, einer breiten Anwenderschicht die Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (engl. Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) näher zu bringen sowie deren korrekte Anwendung zu vermitteln. Solche MCDA-Methoden können in der Praxis auf viele Entscheidungsprobleme angewendet werden. Sie eignen sich sowohl für „kleinere“ Entscheidungen, wie z.B. die Wahl eines geeigneten Gebrauchtwagens, als auch insbesondere für komplexe Probleme, wie z.B. die Wahl eines Energieversorgungssystems. Die Anwendung von MCDA-Methoden kann bei der Strukturierung von Entscheidungsproblemen helfen und Transparenz schaffen, als Grundlage für fundierte Entscheidungen. Dieser Leitfaden soll die Struktur von MCDA-Prozessen verdeutlichen und hervorheben, worin objektive und subjektive Bewertungsschritte bestehen.

Aber wie genau können MCDA-Methoden bei der Entscheidungsfindung unterstützend wirken? Während traditionelle Modelle zur Entscheidungsunterstützung lediglich eine (häufig finanzielle) Zielgröße heranziehen, z.B. in der Betrachtung des Kapitalwerts, zielen MCDA-Methoden darauf ab, eine Vielzahl an Kriterien aus unterschiedlichen Bereichen zu berücksichtigen. Sie bieten daher eine realistische Abbildung von Entscheidungsproblemen und erlauben eine Bewertung unter Berücksichtigung mehrerer relevanter Konsequenzen. So wird im Zuge der Anwendung dem Entscheidungsträger die Gelegenheit gegeben, das Problem näher zu definieren und detailliert zu gliedern, wodurch eine Strukturierung von komplexen Problemen ermöglicht wird. Hierdurch können zudem neue Erkenntnisse hinsichtlich der eigenen Präferenzen und weiterer, potenziell relevanter Faktoren aufgedeckt werden.

Durch die korrekte Anwendung einer MCDA-Methode können schließlich Ergebnisse erzielt werden, die eine Vielzahl an Kriterien berücksichtigen und die als Grundlage oder Handlungsempfehlung für wichtige Entscheidungen dienen können. Zudem besteht über die professionelle Anwendung einer MCDA-Methode im Zusammenspiel mit den Entscheidungsträgern die Möglichkeit, durch die aktive Partizipation und den damit verbundenen Erkenntnisgewinn die Akzeptanz zu erhöhen. Bei der praktischen Anwendung der einzelnen Methoden muss jedoch darauf geachtet werden, dass diese korrekt erfolgt und diverse Anforderungen, die im weiteren Verlauf näher erläutert werden, berücksichtigt werden.

Dieser Leitfaden ist zudem in „nicht-technischer“ Sprache geschrieben, um die Anwendung von MCDA-Methoden möglichst anschaulich zu vermitteln. Er soll einen gut verständlichen Überblick über die Idee und sinnvolle Einsatzmöglichkeiten von MCDA-Methoden verschaffen, um hierüber eine korrekte Anwendung zu ermöglichen. Somit liegt der Anspruch dieses Leitfadens darin, die Idee von MCDA-Methoden und das Wissen um deren korrekte Anwendung leicht verständlich zu vermitteln. Zur besseren Veranschaulichung werden hierfür an verschiedenen Stellen Beispiele eingesetzt, um die Vorgehensweise von MCDA-Methoden zu verdeutlichen.

Zu diesem Zweck ist der Leitfaden wie folgt strukturiert: in Kapitel 2 werden zunächst die entscheidungstheoretischen Grundlagen vorgestellt, um die einzel-

nen Bestandteile von MCDA-Methoden zu verdeutlichen und relevante Begrifflichkeiten zu erläutern. Dieses Kapitel richtet sich somit an sämtliche Leser, denen der Begriff MCDA bisher unbekannt ist und die sich für die multikriterielle Entscheidungsunterstützung interessieren. In Kapitel 3 wird detaillierter auf die Anforderungen eingegangen, die mit einer praktischen Umsetzung einhergehen. Es richtet sich daher sowohl an die Leser, die eine Unterstützung hinsichtlich eigener Entscheidungsprobleme suchen, als auch an potenzielle Analysten, die selber unterstützend tätig sein wollen. In Kapitel 4 wird auf PROMETHEE als eine spezielle MCDA-Methode eingegangen, mittels derer anhand der vorhandenen Informationen eine Rangfolge ermittelt werden kann. Diese Rangfolge bietet dann die Grundlage für die weitere Entscheidungsunterstützung. In Kapitel 5 wird eine Literaturliste bereitgestellt, mittels derer eine tiefgründige Einarbeitung in die verschiedenen Bereiche von MCDA-Methoden vorgenommen werden kann.

2 Entscheidungstheoretische Grundlagen - Was ist die Idee hinter MCDA-Methoden?

In diesem Kapitel werden zunächst Aspekte beschrieben, mit deren Hilfe eine strukturierte und somit fundierte Entscheidungsfindung ermöglicht werden soll. Die einzelnen Schritte werden hierbei kurz aufgezeigt und relevante Begriffe näher erläutert. Die genaue Anwendung wird im Kapitel 3 detailliert illustriert. Im Anschluss werden die Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (MCDA-Methoden) näher betrachtet. Es wird aufgezeigt, welche Vorteile diese genau bieten und in welchen Fällen eine Anwendung sinnvoll ist. Abschließend werden bestehende Softwareanwendungen aufgeführt, die eine Durchführung von MCDA-Methoden vereinfachen.

2.1 Der strukturierte Entscheidungsprozess und Bestandteile von Entscheidungsproblemen

Der Umgang mit komplexen Entscheidungsproblemen ist für Menschen aufgrund der gleichzeitigen Betrachtung vieler Alternativen und deren unterschiedlichsten Konsequenzen oft schwierig.¹ Hierdurch wird das Treffen einer fundierten Entscheidung erheblich erschwert, sodass eine Strukturierung des Prozesses zur Entscheidungsfindung von großem Nutzen sein kann. Ein derartiger Entscheidungsprozess umfasst hierbei verschiedene Schritte, in die nicht nur objektive (faktisch festgelegt, wie z.B. der Preis eines Autos) Bestandteile eingehen, sondern auch subjektive (vom Entscheider individuell empfundene, wie z.B. das Aussehen eines Autos). Daher soll ein strukturierter Entscheidungsprozess dazu beitragen, das Entscheidungsproblem mit all seinen Bestandteilen zu verstehen und angemessen zu bewerten.

Zur Aufbereitung von komplexen Entscheidungsproblemen existieren verschiedene Ansätze, die jedoch im Wesentlichen die in Tabelle 1 ersichtliche Grundstruktur umfassen:

Strukturelement	Beispiel: Gebrauchtwagenkauf	Beispiel: Biogasnutzung
Alternativen	Wagen A, Wagen B, ...	Bioenergiedorf, Biogasanlage, ...
Zielsystem	Mobilität	Nachhaltigkeit
Kriterien	Spritverbrauch, Leistung, ...	CO ₂ Einsparungen, Investition, ...
Präferenzen	z.B. je mehr Zuladung, desto besser	z.B. je weniger Erosion, desto besser
Kriteriengewichtung	z.B. Sicherheit wichtiger als Leistung	z.B. Gleichgewichtung aller Kriterien

Tabelle 1: Beispielhafte Grundstrukturen für die beiden Entscheidungsprobleme *Gebrauchtwagenkauf* und *Biogasnutzung*

¹Bei diesem Prozess des Abwägens und der Informationsverdichtung sind viele Aspekte und Informationen zu beachten, so dass der „gesunde Menschenverstand“ schnell überfordert ist (Miller 1956; Tversky/ Kahneman 1974). Miller entwickelte 1956 die These, dass Menschen nur eingeschränkt in der Lage sind, Informationen aufzunehmen, nachzuvollziehen und zu behalten. In diesem Zusammenhang bringt er die „Magic Number 7“ ins Spiel als Richtwert für die maximale Anzahl Informationen, die ein Mensch verarbeiten kann. Auch wenn diese Anzahl willkürlich wirkt und kritisch hinterfragt werden muss, so wird doch deutlich, dass die menschlichen Möglichkeiten zur Lösung von Problemen doch Einschränkungen unterworfen sind.

Auf Basis dieser grundlegenden Bestandteile können anschließend komplexe Entscheidungsprobleme strukturiert und unter Einsatz von MCDA-Methoden Informationen und Handlungsempfehlungen gegeben werden. Die einzelnen Bestandteile werden im Folgenden genauer erläutert und definiert, eine genaue Beschreibung des Vorgehens zum strukturierten Entscheidungsprozess mittels MCDA-Methoden erfolgt in Kapitel 3.

Alternativen

Unter **Alternativen** werden die Wahlmöglichkeiten für die Lösung des Entscheidungsproblems verstanden. Diese stellen somit die potenziellen Handlungsoptionen oder Maßnahmen dar, die sich aus dem Entscheidungsproblem ableiten. Die einzelnen Alternativen schließen sich hierbei gegenseitig aus, sodass der Entscheider sich letztendlich für genau *eine* Alternative entscheiden muss. Im Rahmen der Entscheidungsunterstützung werden daher immer mindestens zwei Alternativen miteinander verglichen. So kann es sich beispielsweise bei den zur Wahl stehenden Alternativen um verschiedene Automodelle handeln. Zudem kann es in manchen Fällen sinnvoll sein den Status quo, die sogenannte Unterlassensalternative, als weitere Alternative zu berücksichtigen. Hierüber lässt sich zusätzlich ermitteln, ob eine potenzielle Alternative überhaupt eine Verbesserung gegenüber der derzeitigen Situation darstellt.

Die Alternativen können einerseits bereits zu Beginn bekannt sein, andererseits besteht auch die Möglichkeit, diese erst im Laufe des Entscheidungsprozesses zu definieren. Dementsprechend ist es somit auch möglich, dass während der Aufbereitung des Entscheidungsproblems neue potenzielle Alternativen entdeckt werden. Diese sogenannte Generierung von Alternativen kann hierbei weitere, wertvolle Informationen hervorbringen.

Um die Alternativen mittels MCDA-Methoden zu vergleichen, müssen diese zunächst mit ihren charakteristischen und entscheidungsrelevanten Merkmalen beschrieben werden. Dieser Arbeitsschritt der Datenerhebung ist in der Regel aufwändig. Damit ein direkter Vergleich stattfinden kann, ist es notwendig, dass alle Merkmale, die für die Beschreibung der Alternativen herangezogen werden, auch für sämtliche Alternativen definiert werden können. Ist dies nicht möglich, sollten entweder die Alternativen nochmals überdacht oder neue Parameter zur Beschreibung herangezogen werden.

Zielsystem

Wichtige Voraussetzung für eine gelungene Entscheidungsunterstützung ist die Klärung der verfolgten Ziele. Ein **Ziel** stellt hierbei die Beschreibung eines zukünftigen, vom Status quo verschiedenen und erwünschtem Zustand, dar. Demnach könnte z.B. ein Ziel darin bestehen, ein umweltfreundliches Auto auszuwählen.

Die genannten Ziele sollten messbar und realistisch sein. Weiterhin sollten Ziele auch möglichst eindeutig formuliert sein, sodass Klarheit und Übereinstimmung bezüglich des gemeinsamen Verständnisses bei allen beteiligten Personen be-

steht. So wäre im obigen Beispiel der CO₂-Ausstoß konkret messbar, eine Umsetzung realistisch und es ist anzunehmen dass dieses Ziel für Menschen gut verständlich ist, sodass ein einheitliches Verständnis vorherrscht.

Zudem ist zu beachten, dass die Ziele letztendlich vom Entscheidungsträger individuell festgelegt werden können und dessen oder deren persönliche Bestreben widerspiegeln. In der Realität ist hierbei mit jeder Entscheidung zu meist die Verfolgung mehrerer Ziele verbunden. So werden im Kontext von Entscheidungen häufig unterschiedliche Ziele parallel verfolgt, zwischen denen oftmals Abhängigkeiten bestehen oder diese sogar widersprüchlich sein können. Hinsichtlich des Beispiels zum Autokauf können einerseits ökologische Ziele im Sinne einer klimafreundlicheren Fortbewegung verfolgt werden, andererseits ist auch damit zu rechnen, dass eine solche Fahrzeugvariante teurer ist und daher ein Zielkonflikt mit wirtschaftlichen Interessen besteht.

In einem strukturierten Zielsystem wird daher zunächst ein Oberziel formuliert, welches das Gesamtziel des Entscheidungsproblem widerspiegelt. Anschließend wird dieses Oberziel in logisch zusammenhängende Unterziele unterteilt, mittels derer die exakten Ziele konkretisiert werden.

Insbesondere bei Mehrzielproblemen mit widersprüchlichen Zielen können Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung dabei helfen, das Problem aufzubereiten und abzubilden, um es anschließend zu bewerten und eine Handlungsempfehlung zu geben.

Kriterien

Auf Basis der formulierten Ziele erfolgt schließlich die Definition der relevanten **Kriterien**. Anhand der Kriterien soll geprüft werden, inwieweit bzw. zu welchem Grad ein Ziel erreicht wird. Bei der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung wird es somit ermöglicht, über die Berücksichtigung mehrerer Kriterien verschiedene Ziele gleichzeitig in die Lösung eines Entscheidungsproblems einzubeziehen. Bei der Festlegung der entscheidungsrelevanten Kriterien ist jedoch darauf zu achten, dass ein logischer Zusammenhang zu dem jeweilig entsprechenden Ziel besteht.

Um die Struktur und die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Zielen und der damit verbundenen Kriterien zu verdeutlichen bietet sich die Darstellung in einer **Kriterienhierarchie** an. Darin werden zunächst auf der höchsten Ebene die sogenannten Oberziele aufgeführt. Hierbei handelt es sich um grob definierte Ziele, die anschließend über die Zuordnung von verbundenen Unterzielen aufgeschlüsselt werden müssen. So kann beispielsweise der zuvor beschriebene Autokauf in ökologische und wirtschaftliche Oberziele unterteilt werden, wobei wiederum das wirtschaftliche Oberziel in Unterziele wie z.B. Anschaffungs- oder Unterhaltskosten unterteilt werden kann. Für jedes Unterziel werden danach die jeweilig logisch passenden Kriterien formuliert, die abschließend in Form von messbaren **Attributen** konkretisiert werden. Den Attributen werden hierbei eine Maßeinheit sowie das Ziel der Maximierung oder Minimierung zugeordnet. So kann beispielsweise das Unterziel Betriebskosten in die beiden Kriterien Benzinverbrauch und Instandhaltungskosten unterteilt werden. Diese beiden Kriterien sollen hierbei minimiert werden und können durch die

Attribute Verbrauch in l pro 100 km und jährliche durchschnittliche Instandhaltungskosten gemessen werden. Die konkreten Werte für eine bestimmte Alternative werden meist als Kriterienausprägung bezeichnet.

Die Erstellung der Kriterienhierarchie ist ein wichtiger Bestandteil des Ent-

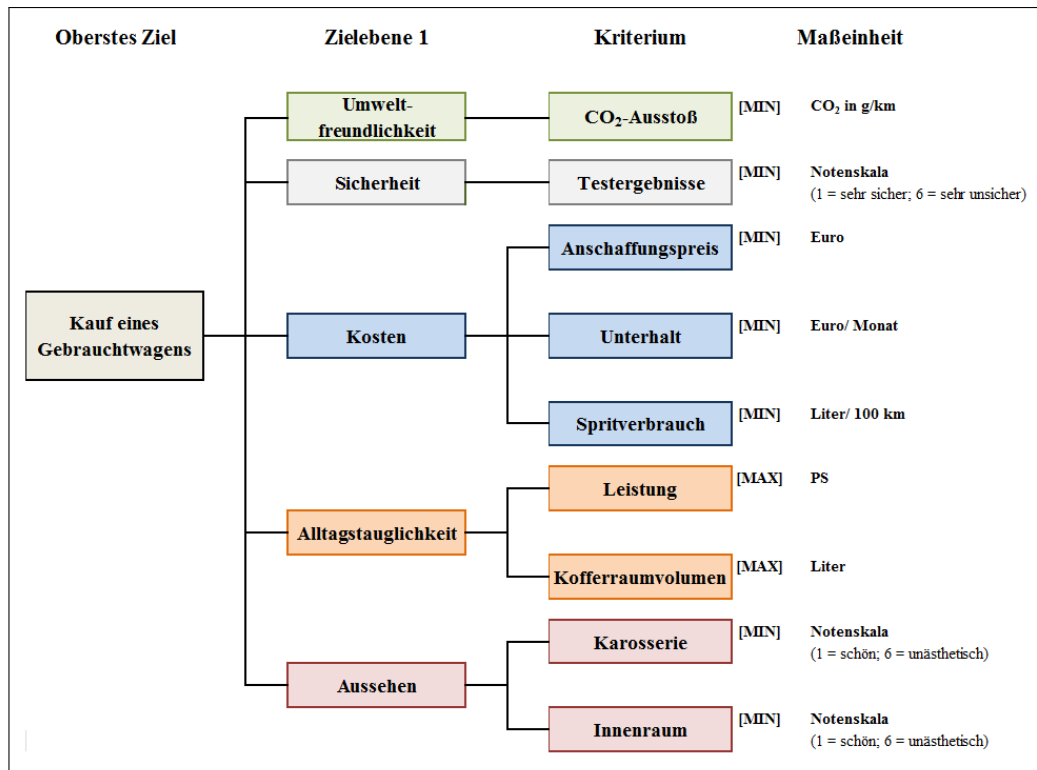


Abbildung 1: Beispielhafte Kriterienhierarchie

scheidungsprozesses, da hierüber wichtige Informationen offen gelegt und die Struktur des Entscheidungsproblems deutlich sichtbar wird. Dies hat den positiven Effekt, dass das Problemverständnis verbessert wird.

Präferenzen

Die **Präferenzen** repräsentieren die positive oder negative Einstellung des Entscheidungsträgers gegenüber den Konsequenzen, die mit den Alternativen auf Basis der gestellten Ziele einhergehen. Diese korrekt abzubilden oder offenzulegen ist ein zentraler Bestandteil von MCDA-Verfahren. Zur Veranschaulichung der Präferenzen werden verschiedene Präferenzbegriffe verwendet. So liegt strikte Präferenz vor, wenn eine Alternative einer anderen konkret vorgezogen wird. Es ist jedoch auch möglich dass eine sogenannte Indifferenz zwischen zwei Alternativen besteht, d.h. dass der Entscheidungsträger beide Alternativen als gleichwertig betrachtet. Wird eine Alternative als mindestens gleichwertig betrachtet, so wird nur von Präferenz gesprochen. Im Rahmen einiger MCDA-Methoden werden diese Präferenzbegriffe noch erweitert, sodass eine Berücksichtigung von schwachen Präferenzen und Unvergleichbarkeiten

ermöglicht wird.²

Zur Offenlegung der Präferenzen können zum einen Präferenzfunktionen verwendet werden, die auf einem direkten Vergleich von Ausprägungen zweier Alternativen beruhen. In Abhängigkeit der Differenz zwischen den Ausprägungen kann dann zwischen Indifferenz, schwacher Präferenz und strikter Präferenz unterschieden werden. Präferenzfunktionen finden z.B. in der MCDA-Methode PROMETHEE Anwendung. Zum anderen ist es möglich, in einem ersten über eine Nutzenfunktion zu bestimmen, wie hoch die Präferenz einer Alternative bezüglich eines Kriteriums ist. Anschließend wird zusätzlich über die Kriteriengewichtung (wird im weiteren Verlauf erläutert) abgebildet, wie entscheidend das entsprechende Kriterium für das gesamte Entscheidungsproblem ist. Über die Kombination beider Aspekte wird schließlich die Präferenz ausgedrückt. Die Präferenzen sind eine wichtige Bewertungsgrundlage, anhand derer sich schließlich die Rangfolge hinsichtlich der untersuchten Alternativen ermitteln lässt. Auf Basis dieser Rangfolge können schließlich Handlungsempfehlungen bezüglich der einzelnen Alternativen gegeben werden.

Kriteriengewichtung

Im Rahmen der Anwendung von MCDA-Methoden wird dem Entscheider zudem die Möglichkeit gegeben, seine eigene (subjektive) Einschätzung einfließen zu lassen, wie wichtig die einzelnen Kriterien hinsichtlich des Gesamtproblems sind. Diese persönliche Wertung wird über die sogenannte **Gewichtung** ausgedrückt. Demzufolge repräsentiert die Gewichtung bzw. der Gewichtungsfaktor eines Kriteriums dessen Bedeutsamkeit für das Gesamtproblem. Zur Ermittlung der Kriteriengewichtung gibt es eine Reihe an verschiedenen Methoden. Die Gewichtungsfaktoren werden mittels einer nicht-negativen Zahl dargestellt, die auf einem kardinalen Skalenniveau gemessen wird. Hierbei werden diese überwiegend in einem Intervall von 0 % bis 100 % oder von 0 bis 100 Punkten angegeben. Somit wird beispielsweise jedem Kriterium eines Entscheidungsproblems gemäß seiner subjektiven Bedeutung für den Entscheider ein Wert zwischen 0 und 100 % zugeordnet, wobei alle Gewichte in Summe 100 % ergeben.

Eine Herausforderung stellt jedoch die Ermittlung der tatsächlichen Gewichtungsfaktoren dar, da diese auf den subjektiven Empfindungen des Entscheiders beruhen. Es kann vorkommen, dass der Entscheider seine persönlichen Gewichtungen nur vage formulieren kann oder aufgrund einer Vielzahl an Kriterien Schwierigkeiten hat, deren Bedeutung gegeneinander abzuwägen. Daher existieren verschiedene Ansätze, die dabei helfen sollen, über eine strukturierte Vorgehensweise die Gewichtungsfaktoren zu ermitteln. Der einfachste Ansatz besteht darin, für sämtliche Kriterien das gleiche Gewicht anzusetzen (sogenannte Gleichgewichtung). Dies hat jedoch zum Nachteil, dass nicht wirklich die subjektiven Vorstellungen des Entscheiders berücksichtigt werden und in die Entscheidungsfindung einfließen. Daher wurden auch einige an Verfahren entwickelt, die dem Entscheidungsträger dabei helfen sollen, seine persönlichen

²Bei den sogenannten Outranking-Verfahren werden schwache Präferenzen und Unvergleichbarkeiten explizit abgebildet, siehe Abschnitt 2.2

Einschätzungen offenzulegen und auszudrücken. Verbreitete sind hierbei z.B. die Verfahren SMART oder SWING.³ Deren Anwendung verfolgt somit das Ziel, jedem Kriterium ein individuelles Gewicht zuzuordnen, das die persönliche Einschätzung des Entscheidungsträgers widerspiegelt. Trotz aller Bemühung um Objektivierung der Vergabe der Gewichtungsfaktoren werden subjektive Einflüsse beim Vergleich der Wichtigkeit von verschiedenen, oft konfligierenden Kriterien auftreten.

Zudem kann bei der Ermittlung hierarchisch oder nicht-hierarchisch vorgegangen werden. Hierarchische Ansätze orientieren sich hierbei an der Kriterienhierarchie. So werden bei diesen alle Elemente einer Ebene innerhalb der eigenen Ebene gewichtet (dies bedeutet, dass für jede Ebene 100 % bzw. 100 Punkte auf sämtliche Unterziele oder Kriterien verteilt werden), sodass das endgültige Gewicht eines Attributes über die Multiplikation der jeweiligen Gewichte aller Vorgänger (Pfad entlang der Hierarchie) bestimmt werden kann. Bei nicht-hierarchischen Vorgehen werden dem entgegen sämtliche Attribute gleichzeitig gewichtet.

Da die Gewichte einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Entscheidungsfindung haben und diese auf subjektiven Angaben beruhen, die daher nur schwer korrekt zu ermitteln sind, empfiehlt sich die Anwendung einer Sensitivitätsanalyse. Innerhalb einer solchen Lösung wird getestet, wie stabil das Ergebnis bezüglich einer Veränderung der einzelnen Gewichte ist. Dies bedeutet, dass für sämtliche Gewichte geprüft wird, welche Auswirkungen eine andere Angabe bezüglich nach sich ziehen würde.

2.2 Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung

In vielen Entscheidungsproblemen werden mehrere, teilweise konfliktäre Zielsetzungen parallel verfolgt. Zur Strukturierung und Lösung solcher Mehrzielprobleme können Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (MCDA-Methoden) eingesetzt werden. Deren Anwendung kann zudem dabei helfen, Kompromisse zu identifizieren, um möglichst vielen Zielen gerecht zu werden.

Im Allgemeinen liegt das Ziel von MCDA-Methoden darin, für einen Entscheidungsträger oder eine Gruppe aus Entscheidungsträgern unter Berücksichtigung von mindestens zwei Kriterien und auf Basis der individuellen Präferenzen eine Entscheidungsunterstützung bereitzustellen. Somit soll zum einen eine Unterstützung bei der Informationsverarbeitung bereitgestellt werden sowie eine Hilfe bei der Problemstrukturierung durch die Offenlegung der relevanten Alternativen, der verfolgten Ziele und der daraus resultierenden Kriterien. Zum anderen werden auf Basis der erzielten Ergebnisse wertvolle Informationen zur Entscheidungsfindung offengelegt. Der Umfang der Entscheidungsunterstützung unterscheidet sich jedoch je nach angewendetem Verfahren.

Folglich sollte in einem ersten Schritt festgestellt werden, welche Art von Ergeb-

³Bei SMART und SWING werden Punkte als Richtwerte vergeben, an denen sich orientiert wird. Das exakte Vorgehen wird in 3.1.7 beschrieben.

nis eigentlich erzielt werden soll, um darauf aufbauend das passende Verfahren zu wählen.

Die Anwendung von MCDA-Methoden erlaubt darüber hinaus, dass auch nicht-monetäre (nicht in Geldeinheiten, wie z.B. Euro oder Dollar, gemessen) Größen einbezogen werden können. Hierdurch werden Schwierigkeiten, die mit der monetären Bewertung bestimmter Faktoren einhergehen, wie z.B. Lebensqualität, vermieden. Mittels MCDA-Methoden wird es somit ermöglicht, verschiedene Aspekte, die quantitativer und/ oder qualitativer Natur sein können, einzu-beziehen. Diese Fähigkeit stellt hinsichtlich der überwiegenden Zahl an realen Fragestellungen einen entscheidenden Vorteil dar.

MCDA-Methoden eignen sich daher bei der Entscheidungsunterstützung hinsichtlich komplexer Probleme, deren Zusammenhänge und Konsequenzen nicht nur vielfältig, sondern auch schwer zu überblicken sind. Das Ziel von MCDA-Methoden ist es hierbei, das Verständnis des Entscheidungsträgers für das Entscheidungsproblem zu verbessern und dieses zu strukturieren, um hierüber eine fundiertere Entscheidung zu ermöglichen. Es soll daher ausdrücklich **nicht** die Entscheidungsfindung automatisiert werden und nicht die Entscheidung den Verantwortlichen abgenommen werden. Die Anwendung einer MCDA-Methode kann daher nicht als technischer Prozess, sondern als unterstützender Begleitprozess während der Entscheidungsfindung verstanden werden. Aus diesem Grund stellt auch die Gestaltung der sozialen Prozesse einen wichtigen Bestandteil einer erfolgreichen Anwendung dar.

Innerhalb der MCDA-Methoden wird zudem zwischen den beiden Bereichen **Multi-Objective Decision Making (MODM)** und **Multi-Attribute Decision Making (MADM)** unterschieden. Diese unterscheiden sich primär über die Ausgestaltung der Alternativen sowie in den resultierenden Ergebnissen. Im Rahmen dieses Leitfadens liegt der Fokus auf der Anwendung von MADM-Methoden.

Bei MODM-Methoden wird aus einer stetigen (nicht-abzählbaren) Menge an Alternativen mittels mathematischer Verfahren, z.B. Vektoroptimierungsmodellen, unter Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen eine optimale Lösung ermittelt. Hinsichtlich des Beispiels könnte somit auf Basis der individuellen Präferenzen des Entscheiders ein Auto in dessen optimaler Ausgestaltung ermittelt werden. Zu diesem Zweck könnte z.B. eine optimale Mischung aus den Kriterien Kaufpreis, Verbrauch und CO₂-Ausstoß ermittelt werden.

MADM-Methoden hingegen vergleichen eine diskrete (abzählbare), klar voneinander abgrenzbare Menge bereits bekannter Alternativen. Im Beispiel würden demnach drei konkrete Automodelle bereits vorliegen. Dies bedeutet, dass die Alternativen vor der Bewertung exakt definiert und bezüglich der unterschiedlichen Kriterien verglichen werden. Das Ziel liegt somit nicht darin, bezüglich der eigenen Präferenzen das Optimum zu ermitteln (das aufgrund der auftretenden Zielkonflikte gar nicht existiert), sondern zwischen zu realisierenden Alternativen eine bestmögliche Auswahl zu treffen. Hierbei handelt es sich meistens um eine Kompromisslösung, solange keine dominierende Alternative existiert. Dominanz bedeutet in diesem Zusammenhang, dass eine Alternative hinsichtlich sämtlicher Kriterien gleichwertig und bei mindestens einem Kriterium besser bewertet wird. Planen z.B. zwei Studenten einen Sommerurlaub

in Frankreich, so wäre die Nutzung der Porsche der Tante aus Amerika dominierend gegenüber der Verwendung des eigenen Autos oder eines Mietwagens (steht gratis zur Verfügung, ist sicherer, größere Leistung, höherer Fahrkomfort). Da das Auto jedoch auf einem anderen Kontinent ist und somit nicht zur Verfügung steht (K.O. Kriterium), muss ein Kompromiss zwischen den anderen Alternativen gefunden werden. Des Weiteren soll über die Strukturierung des Entscheidungsprozesses dem Entscheider weitere Informationen hinsichtlich der persönlichen Präferenzen und Ziele geliefert werden. In Anbetracht des Beispiels lässt sich erkennen, dass die Ermittlung einer optimalen Lösung in manchen Fällen nicht zielführend ist, sondern ein Vergleich von realisierbaren Alternativen sinnvoller ist. So ist es hinsichtlich des beispielhaften Autokaufs wahrscheinlich, dass die optimale Ausgestaltung des Autos in der ermittelten, optimalen Form am Markt nicht zu erhalten ist. Eine fundierte Bewertung bezüglich der Modelle, die angeboten werden, ist jedoch sinnvoll. Ein weiterer Vorteil von MADM-Methoden liegt zudem darin begründet, dass die einbezogenen Kriterien auf unterschiedlichen Skalenniveaus berücksichtigt werden können. Dies bedeutet, dass nicht die Kriterien in eine identische Messskala überführt werden müssen, sondern zur Bewertung in unterschiedlichen Einheiten, wie z.B. Euro, l und CO₂/km, ausgedrückt werden können und erst anschließend in sogenannte Nutzwerte oder Präferenzwerte umgerechnet werden. Innerhalb der MADM-Methoden wird weiterhin zwischen zwei Kategorien unterschieden: klassische und Outranking-Verfahren.

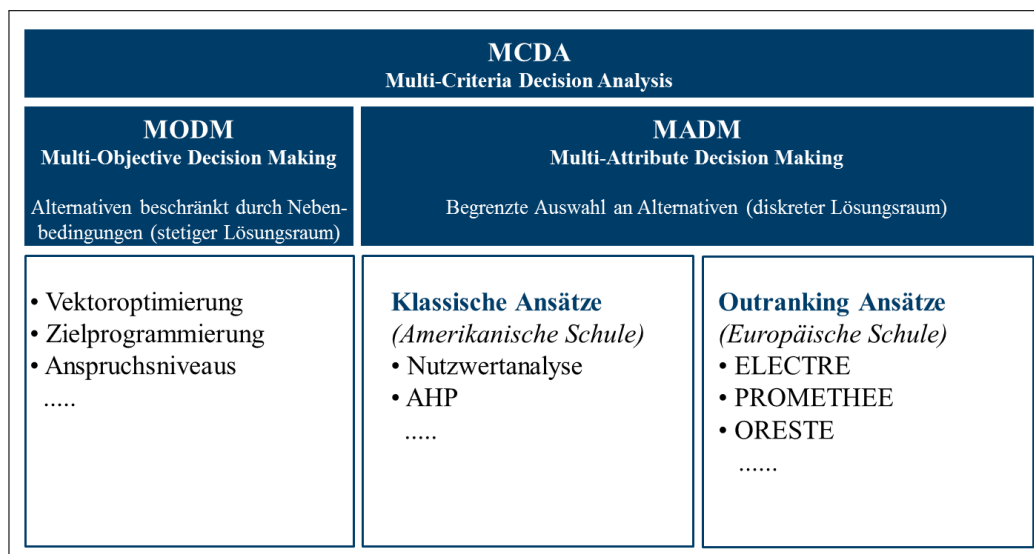


Abbildung 2: Schematische Einordnung von MCDA-Methoden[in Anlehnung an: Zimmermann/ Gutsche (1991)]

Klassische Verfahren

Die klassischen MADM-Methoden basieren auf der Annahme, dass sich die Präferenzen des Entscheidungsträgers über die Aufstellung einer entsprechenden Nutzenfunktion darstellen lassen. Mittels dieser Nutzenfunktion wird jeder Ausprägung, die eine Alternative bezüglich jedes Kriteriums aufweist, ein

entsprechender Nutzenwert zugeordnet. Dieser basiert auf den tatsächlichen Präferenzen des Entscheiders und soll diese exakt abbilden. Eine grundlegende Annahme der klassischen Verfahren ist daher, dass der Entscheidungsträger in der Lage ist, seine Präferenzen korrekt und exakt zu formulieren und zudem unmissverständlich zu kommunizieren.

Innerhalb der verschiedenen klassischen Verfahren wird dabei im Allgemeinen so vorgegangen, dass für jede Alternative ein **Gesamtnutzenwert** ermittelt wird, der sich wiederum aus einzelnen **Teilnutzenwerten** zusammensetzt. Die Teilnutzenwerte ergeben sich aus den jeweiligen Nutzenwerten (in Kombination mit der jeweiligen Nutzenfunktion), die der Alternative hinsichtlich der einzelnen Kriterien zugeordnet werden können. Die Alternative mit dem höchsten Gesamtnutzen stellt folglich die Alternative dar, die über sämtliche Kriterien den höchsten Wert aufweist und gewählt werden sollte. Das Ziel der klassischen Verfahren liegt somit in der Offenlegung der Präferenzen sowie demzufolge in ihrer korrekten Abbildung. Mit dem Vorgehen einer Aggregation über die verschiedenen Kriterienausprägungen geht jedoch auch ein Informationsverlust einher.

Bekannte Verfahren dieser Klasse sind die Nutzwertanalyse, die Multi-Attribute Utility/ Value Theory (MAUT/ MAVT) und der Analytische Hierarchie/ Netzwerk Prozess - AHP/ ANP). Die Vorteile der klassischen Verfahren sind zum einen deren Verbreitung und praktische Etablierung, die auf der gut nachvollziehbaren Logik sowie der einfachen Umsetzung beruhen. Die Ermittlung der einzelnen Nutzenfunktionen ist hierbei jedoch entweder mit einem großen Datenermittlungsaufwand verbunden oder die Präferenzen des Entscheiders werden zu stark vereinfachend dargestellt, sodass eine exakte und korrekte Abbildung oft nicht gewährleistet ist. In diesem Zusammenhang ist auch die Annahme, dass der Entscheider stets um seine Präferenzen weiß und diese korrekt wiedergeben kann, fraglich. Zudem ist die Bedingung, dass die Kriterien voneinander unabhängig sein müssen, in der Realität nur schwer umzusetzen.

Outranking-Verfahren

Eine Alternative zu den klassischen Verfahren stellt die Gruppe der Outranking-Methoden dar, die auch als „französische“ Schule bezeichnet werden. Der Ursprung dieser Gruppe an Verfahren liegt auch in den Kritikpunkten an den klassischen Verfahren begründet, welche diese umgehen versuchen. So basieren die Outranking-Methoden auf der Annahme, dass der Entscheidungsträger nicht eindeutig um seine eigenen Präferenzen weiß und diese daher nicht exakt abbilden kann. Daher erlauben Outranking-Methoden auch die Berücksichtigung widersprüchlicher Informationen. Das Ziel der Outranking-Methoden liegt demzufolge in der Generierung von Informationen sowie der Strukturierung des Entscheidungsprozesses, um diesen transparenter zu gestalten. Der Entscheider soll sich eher des Problems und der dafür relevanten Aspekte bewusst werden, um hierüber ein besseres Verständnis für das Entscheidungsproblem zu entwickeln und somit eine fundiertere Entscheidung treffen zu können. Zudem sollen die Konsequenzen der eigenen Annahmen, wie z.B. der subjektiven Kriteriengewichtung, verdeutlicht werden. Der Entscheider soll hierüber in die

Lage versetzt werden, das komplexe Entscheidungsproblem und die eigenen Präferenzen sowie deren Auswirkungen angemessen zu reflektieren. Am Ende der Anwendung einer Outranking-Methode steht daher auch ein Ergebnis in Form einer Rangfolge, dieses soll jedoch im Kontext mit den zusätzlich gewonnenen Informationen bewertet werden.

Die Outranking-Methoden basieren auf paarweisen Vergleichen, um mittels vereinfachenden Präferenzfunktionen die individuellen Präferenzen des Entscheiders zu ermitteln. Aufgrund dieser paarweisen Vergleiche und der zugrundeliegenden Präferenzfunktionen wird es somit ermöglicht, auch schwache Präferenzen und sogar Unvergleichbarkeiten darzustellen. Diese Möglichkeit ist von besonderem Wert, wenn eine hohe Anzahl an Kriterien vorliegt, da in diesem Fall die Annahme der klassischen Verfahren, für die Alternativen eine strikte Präferenz angeben zu können, fraglich ist.

Die gängigsten Outranking-Methoden stellen ELECTRE (Elimination Et Choix Tradusaint la Réalité) und PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) dar, aber es existieren auch weitere Methoden, wie z.B. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Die Vorteile dieser Methoden liegen somit in dem erweiterten Präferenzbegriff und dem damit verbundenen Aufzeigen von Unvergleichbarkeiten, der nachvollziehbaren Anwendung, dem geringeren Informationsbedarf vom Entscheidungsträger sowie der Vermeidung einer möglichen vollständigen Kompensation bezüglich der Kriterienausprägungen. Zudem spiegeln die zugrundeliegenden Annahmen die Realität adäquat wider.

2.3 Software zur Anwendung von MCDA-Methoden

In der Praxis wird für die Anwendung von MADM-Methoden entsprechende Software eingesetzt, sodass die Berechnung im Allgemeinen computergestützt erfolgt. Daher existieren für die Methoden verschiedene kommerzielle Softwareanwendungen. Neben diesen gibt es jedoch auch Open-Source-Software, die der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung stehen. Innerhalb der verschiedenen Softwareanwendungen besteht zumeist auch die Möglichkeit von verschiedenen Visualisierungen. Die *EURO Working Group on Multicriteria Decision Aiding* bietet auf ihrer Homepage eine Übersicht verschiedener Softwareanwendungen an.⁴ Zudem finden sich gute Zusammenfassungen bestehender Softwareanwendungen in (Belton, Stewart 2003) und (Figueira et al. 2005). In Tabelle 2 wird eine Auswahl an Software kurz beschrieben.

⁴<http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda/index.php/software>

Software	Methode	Kurzbeschreibung
DataScope	MAVT	Entscheidungsunterstützung bei diskreten und kontinuierlichen Lösungsräumen
D-Sight	PROMETHEE und nutzwertbasierte Methoden	Online Plattform zur Unterstützung bei Gruppenentscheidungen; auch als Desktop-Software verwendbar
Decision Explorer	Qualitative Datenanalyse	Problemstrukturierung mittels <i>cognitive maps</i>
Decision Lab 2000	PROMETHEE	Anwendung von PROMETHEE und Visualisierung mittels der GAIA-Ebene
DEFINITE	MAVT; Kosten-Nutzenanalyse; Outranking	Lösung bei diskreten Lösungsräumen; Berücksichtigung unscharfer Präferenzinformationen
ELECTRE TRI	ELECTRE	Anwendung ELECTRE III; Unterstützung bei Ermittlung der Präferenzen
EQUITY	MAVT	Ressourcenallokation und Projektauswahl
MACBETH 1.1	MACBETH	benötigt nur qualitative Informationen; Erstellung Kriterienhierarchie; Gewichtung; Ermittlung einer Rangfolge
Visual PROMETHEE	PROMETHEE	Anwendung von PROMETHEE und Visualisierung mittels der GAIA-Ebene
Web-HIPRE	MAVT und AHP	Ermittlung einer Rangfolgen aus diskreten Alternativen; Gewichtung; Gruppenentscheidungen
WINPRE	Interaktive Methoden	Ermittlung einer Rangfolgen aus diskreten Alternativen; Gruppenentscheidungen
WWW-NIMBUS	Interaktive und Referenzpunktmethoden	Entscheidungsunterstützung in kontinuierlichen Lösungsräumen; multikriterielle Optimierung

Tabelle 2: Auswahl von Softwareanwendungen für MCDA-Methoden

3 Durchführung von MCDA-Methoden - Umsetzung in der Praxis

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die praktische Umsetzung von MCDA-Methoden ausgestaltet sein sollte und welche Anforderungen bei der Anwendung erfüllt werden müssen. Die einzelnen Schritte, die innerhalb einer Anwendung durchlaufen werden, werden zudem beispielhaft erläutert. Des Weiteren wird auf Ansätze näher eingegangen, um im Rahmen der Entscheidungsunterstützung verschiedene Interessengruppen sowie Faktoren wie Unsicherheit, Risiko bzw. Unschärfe zu berücksichtigen.

Die nachfolgende Erläuterung des Vorgehens richtet sich primär an Projektteams, die komplexe Entscheidungsprobleme aus ihrem Fachbereich aufbereiten und Handlungsempfehlungen geben wollen. Sie bietet jedoch auch interessierten Menschen eine Anleitung, wie eigene Entscheidungsprobleme strukturiert aufbereitet und bewertet werden können.

3.1 Einzelne Schritte der Durchführung von MCDA-Methoden

Die praktische Anwendung von MCDA-Methoden erfolgt nach einem Prinzip, das in neun Schritte unterteilt werden kann:

1. Definition des Entscheidungsproblems
2. Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen
3. Ermittlung des Zielsystems
4. Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie
5. Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion
6. Bestimmung der Kriterienausprägungen für die einzelnen Alternativen
7. Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung
8. Aggregation mittels der gewählten Methode und erzielen einer Rangfolge
9. Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse

Auch wenn diese Schrittfolge einen stringenten Ablauf vermuten lässt, so ergibt sich üblicherweise in der Praxis ein iterativ, rückgekoppelter Prozess. Dies bedeutet, dass es basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen nötig sein kann, Größen aus vorherigen Schritten kritisch zu hinterfragen und eventuell Korrekturen vorzunehmen. Weiterhin kann es sinnvoll sein, die Datenerhebung zu verfeinern um die Datenbasis zu ergänzen. So kann z.B. die Festlegung der Ausgestaltung von Kriterienhierarchie dazu führen, dass die Ausgestaltung der Alternativen angepasst werden muss. Das Vorgehen entspricht daher eher einem Prozess zur Erschließung des Problems und stellt kein klar abgegrenztes

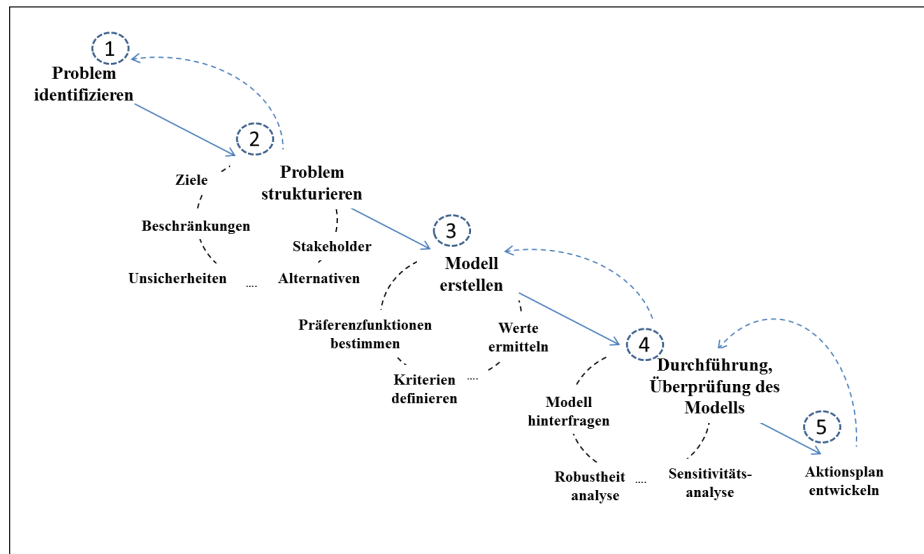


Abbildung 3: Schritte der Durchführung einer MCDA-Methode [In Anlehnung an Belton, Stewart (2003)]

Schema dar, welches es strikt zu befolgen gilt. So kann z.B. auch die Ermittlung des Zielsystems vor der Identifikation der Alternativen erfolgen. Es wird anhand des Beispiels, dass im weiteren Verlauf angeführt wird, auch deutlich, dass bestimmte Bestandteile nachfolgender Schritte bereits in vorherigen Schritten einfließen. Die MCDA-Methoden und die damit verbundenen Schritte können gut mittels Planungswerkstätten und moderierten Workshops umgesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Veranstaltungen, bei denen die Entscheidungsträger durch den Entscheidungsprozess begleitet werden, aber auch interessierte Personen eingeladen werden können. Die Anwendung von MCDA-Methoden und die Durchführung des Prozesses wird hierbei überwiegend von externen Personen übernommen, die Experten auf ihren Gebieten sind. Hierbei wird zwischen dem Analysten und dem Moderator bzw. Facilitator unterschieden.

Ein **Analyst** stellt nicht nur sicher, dass die einzelnen Schritte des Entscheidungsprozess korrekt durchgeführt werden, sondern auch, dass die verwendeten Methoden, z.B. zur Ermittlung der Gewichtung oder zur Aggregation der Daten, richtig angewendet werden. Er stellt sein Methodenwissen zur Verfügung und begleitet den Prozess auch technisch, indem er Softwareanwendungen einsetzt. Der Analyst ist somit neutral hinsichtlich des Ergebnisses und hat die Aufgabe, die Anwendung einer MCDA-Methode zu ermöglichen und bei der Datenermittlung zu unterstützen.

Auch der **Moderator** steht der zu treffenden Entscheidung neutral gegenüber. Seine Aufgabe liegt schließlich darin, den Informationsfluss während der Veranstaltung auf das Wesentliche zu lenken und sämtlichen Teilnehmern einen Zugang zu den gegebenen Informationen zu ermöglichen. Er hält sich möglichst im Hintergrund und soll in der Art eines Informationsmanagers einen effizienten und effektiven Informationsfluss sicherstellen. Da er den Kommunikationsprozess aufmerksam verfolgen muss ist, besteht jedoch die Gefahr, dass unbe-

wusst eine Position eingenommen wird und somit die Neutralität nicht mehr gegeben ist. Um dies zu verhindern ist es vorteilhaft, zu zweit zu moderieren, da so eine gegenseitige „Kontrolle“ vorgenommen werden kann. Der Erfolg eines Workshops hängt zu weiten Teilen von einer gut vorbereiteten Moderation ab. Zu diesem Zweck sollten die Moderatoren sich gründlich vorbereiten. Dies umfasst eine inhaltliche Vorbereitung (Um welches Thema handelt es sich?), eine methodische Vorbereitung (In welchem Schritt wird welches Ziel? Welche Methodik ist hierfür geeignet?), eine organisatorische Vorbereitung (Welche/r Zeitpunkt, Ort, Sitzordnung, Medieneinsatz, Teilnehmer?) und eine persönliche Vorbereitung (Wie kann ich meine Wissen möglichst gut einsetzen?).⁵

Neben dem Moderator wird als weitere Rolle des Öfteren auch der **Facilitator** aufgeführt. Der Facilitator unterscheidet sich vom Moderator dahingehend, dass er sich aktiv in den Kommunikationsprozess einbringt und den Fokus auf die Verbesserung der Kommunikation innerhalb der Gruppe legt. So soll er den Informationsfluss lenken und darauf achten, dass sämtliche Meinungen einbezogen werden und sich möglichst alle Teilnehmer einbringen. Er versucht somit, durch gezieltes Eingreifen die Qualität des Informationsflusses zu erhöhen. Zu diesem Zweck übernimmt er auch Aufgaben wie z.B. die Zeiteinteilung, die Aufstellung und Einhaltung einer Agenda, die Dokumentation des Prozesses. Er deckt zudem Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf oder strukturiert im Dialog mit den Akteuren relevante Themenbereiche. Darüber hinaus verfügt auch der Facilitator über Methodenwissen, sodass er gegebenenfalls weitere Arbeitsmethoden einbringen kann.

Besonders bei größeren Entscheidungsproblemen mit vielen Beteiligten aus unterschiedlichen Interessengruppen und Fachdisziplinen ist die Unterstützung durch einen Moderator und /oder einen Facilitator vorteilhaft. So sollte sichergestellt werden, dass sämtliche Bedenken und Interessen geäußert und auch registriert sowie nachvollzogen werden. Zudem kann der Analyst im Rahmen der Softwareanwendung die Ergebnisse der MCDA veranschaulichen und mit den Beteiligten diskutieren, z.B. unter Anwendung einer Sensitivitätsanalyse. Die Anwendung kann hierbei im Hintergrund erfolgen, eine parallele Umsetzung während der Workshops erhöht jedoch die Transparenz. Die Dauer der Workshops hängt hierbei von der Komplexität des Entscheidungsproblems ab. Sie kann daher zwischen mehreren Stunden liegen oder sich über mehrere Monate mit regelmäßigen Treffen erstrecken. Ein oftmals geeignetes Vorgehen liegt darin, zunächst an einem Nachmittag den MCDA-Prozess durchzuführen, um anschließend am nächsten Vormittag die Ergebnisse nochmals zu besprechen. Somit kann bis zum nächsten Vormittag über die Ergebnisse nachgedacht werden.

3.1.1 Definition des Entscheidungsproblems

In einem ersten Schritt sollte das Entscheidungsproblem definiert werden. Die umfassende Diskussion des übergeordneten Zieles mit allen Beteiligten ist von großer Wichtigkeit, damit sichergestellt ist, dass ein einheitliches Verständnis

⁵Für eine detaillierte Beschreibung der Aufgaben eines Moderators: Seifert, J.W. (2011): Visualisieren - Präsentieren - Moderieren, 30. Aufl., Gabal Offenbach

bei sämtlichen Beteiligten vorherrscht. Ein positiver Nebeneffekt ist die Generierung von weiteren Informationen sowie die weitere Erschließung des Problems und potenzieller Auswirkungen. Die Definition des Entscheidungsproblems umfasst hierbei mehrere Faktoren. Zunächst sollte ein übergeordnetes Ziel formuliert werden, um das Entscheidungsproblem vollständig und eindeutig zu erfassen. Aufgrund der multikriteriellen Natur des Entscheidungsproblems lässt sich das übergeordnete Ziel in mehrere Unterziele aufsplitten. Diese abzubilden ist jedoch die Aufgabe der Kriterienhierarchie, deren Ermittlung an späterer Stelle beschrieben wird.

Zudem müssen der oder die Entscheidungsträger identifiziert werden. Hierbei handelt es sich um die Person oder eine Gruppe von Personen, die letztendlich die Entscheidung trifft und zu dessen Unterstützung die MCDA-Methode angewandt wird. Weiterhin gilt es sämtliche Stakeholder zu benennen. Als Stakeholder werden sämtliche Personen, Gruppen oder Institutionen bezeichnet, die von der Entscheidung unmittelbar betroffen sind und somit die Auswirkungen spüren. Des Öfteren ist bei Entscheidungsproblemen eine Vielzahl an Interessengruppen betroffen, die teilweise konfliktäre Zielsetzungen verfolgen. Die Moderation zwischen diesen Gruppen sowie die Identifikation von Kompromissen stellt daher eine weitere Aufgabe von MCDA-Methoden dar.

Die Definition des Entscheidungsproblems umfasst daher verschiedene und sollte nicht unterschätzt werden. So müssen die potenziellen Auswirkungen, die verschiedenen Interessengruppen, aber auch die Systemgrenzen (welche Faktoren sollen einbezogen werden?) festgelegt werden, sodass das oftmals nur grob umrissene Entscheidungsproblem adäquat und in allen relevanten Facetten abgebildet werden kann. Zudem sollte an dieser Stelle auch vermittelt werden, welcher positive Beitrag durch die Anwendung einer MCDA-Methode geleistet werden kann, nämlich Strukturierung und Transparenz des Entscheidungsprozesses. Dies hilft zum einen dabei, dass keine Erwartungen auftreten, die nicht erfüllt werden können oder sollen. Zum anderen kann hierüber im Verlaufe des Entscheidungsprozesses sichergestellt werden, dass der Fokus auf die relevanten Aspekte gerichtet und zielführend vorgegangen wird.

Beispiel Autokauf: Definition des Entscheidungsproblems

Die Familie Meier möchte sich ein neues Auto zulegen, da ihr alter Wagen nicht mehr durch den TÜV gekommen ist und die anfälligen Reparaturen zu teuer wären. Nun wurde eines Abends der Familienrat einberufen um zu entscheiden, welches Auto die Bedürfnisse der Familie wohl am besten erfüllt. Die Mutter hat über Ihre Arbeit etwas über das Konzept der MCDA-Methoden erfahren und so beschließt die Familie, einmal diese Konzept für ihre Entscheidungsfindung anzuwenden. Da im Zuge des Autokaufs aus einer diskreten Anzahl an Alternativen gewählt werden muss und die Familie noch nicht viele Erfahrungen mit MCDA-Methoden hat, beschließt sie als Verfahren PROMETHEE anzuwenden, da die Mutter von den Kollegen gehört hat, dass es leicht verständlich und gut anwendbar ist.

Am entsprechenden Abend versammelt sich die ganze Familie am Küchentisch.

Neben dem Vater und der Mutter meldet auch der 17-jährige Sohn seinen Anspruch an, dass er an der Entscheidung teilhaben möchte, da er bald seinen Führerschein macht. Da die 12-jährige Tochter in nichts nachstehen soll, wird daher beschlossen, dass jedes Mitglied während des Entscheidungsprozesses beteiligt werden soll, die Entscheidung letztendlich aber durch die Eltern getroffen wird. Die Eltern repräsentieren daher die Entscheidungsträger, während die Kinder Stakeholder darstellen.

Als übergeordnetes Ziel legt die Familie relativ schnell und übereinstimmend fest, dass ein Auto gekauft werden soll, das für den Alltag sämtlicher Familienmitglieder möglichst gut geeignet ist. Um den Prozess zu vereinfachen schlägt die Mutter zudem vor, eine öffentlich zugängliche Open-Source-Software zu nutzen, welche auch auf ihrer Arbeit angewendet wird.

Beispiel Bioenergie: Definition des Entscheidungsproblems

Die Bewohner eines Dorfes interessieren sich für die nachhaltige energetische Nutzung von Biomasse. Sie fragen sich, ob eine solche Nutzung eventuell auch für ihr Dorf möglich wäre und berufen daher eine Dorfversammlung ein, um verschiedene Möglichkeiten zu erörtern. Aufgrund der Komplexität des Themas wird schnell deutlich, dass es schwierig ist, die relevanten Aspekte der Fragestellung zu erfassen. Einer der Dorfbewohner hat jedoch auf der Arbeit das Konzept der MCDA-Methoden kennengelernt und er könnte sich vorstellen, dass diese Methode dem Dorf bei der Entscheidungsfindung helfen könnte. Er schlägt daher auf der Versammlung vor, diese Methode anzuwenden und die anderen Bewohner stimmen zu, dass eine Anwendung nützlich sein könnte. Da schließlich hinsichtlich der energetischen Nutzung der lokalen Biomasse aus einer diskreten Anzahl an Alternativen gewählt werden muss und die Dorfbewohner noch nicht viele Erfahrungen mit MCDA-Methoden haben, beschließen sie als Verfahren PROMETHEE anzuwenden, da diese Methode leicht verständlich und gut anwendbar ist. Aufgrund der mangelnden Methodenkenntnisse schlägt der Dorfbewohner vor, einen erfahrenen Analysten mit der Durchführung der Methode zu beauftragen. Er bietet daher an, einen Kontakt zu dem Analysten herzustellen, der auch bei ihm in der Firma unterstützend tätig war.

Zusätzlich wird auf der Dorfversammlung diskutiert, wer alles am Entscheidungsprozess beteiligt werden soll und wer letztendlich die Entscheidung trifft. Die Dorfbewohner stimmen jedoch schnell darin überein, dass sämtliche Betroffenen auch beteiligt werden sollen und dass alle interessierten Teilnehmer auch einen gleichen Einfluss bei der Entscheidungsfindung haben sollen. Daher wird beschlossen, mehrere Dorfversammlungen zur Anwendung der MCDA-Methode durchzuführen, bei denen sich die Bewohner und die Landwirte einbringen können. Um den Prozess zu vereinfachen schlägt der Bewohner zudem vor, eine öffentlich zugängliche Open-Source-Software zu nutzen, welche auch auf seiner Arbeit angewendet wird. Mit der Festlegung des Entscheidungsproblems endet schließlich die erste Versammlung und es wird ein nächster Termin festgelegt.

3.1.2 Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen

Bei MADM-Methoden soll aus einer diskreten, abzählbaren Menge an vorherig definierten Alternativen eine Wahl getroffen werden, werden MADM-Verfahren eingesetzt. Im Rahmen dieses Leitfadens liegt der Fokus auf Methoden des MADM, sodass im weiteren Verlauf die Identifikation und Ausgestaltung von diskreten Alternativen näher erläutert wird.

Es ist wahrscheinlich, dass bereits zu Beginn bei den Entscheidungsträgern eine gewisse Vorstellung vorliegt, welche potenziellen Alternativen innerhalb des definierten Entscheidungsproblems zur Auswahl stehen. Diese ersten Alternativen gilt es aufzulisten und geeignete Merkmale zu identifizieren, welche die Alternativen hinsichtlich ihrer Ausgestaltung definieren. Hierbei sollte versucht werden, sämtliche Merkmale abzubilden, die für die Lösung des Entscheidungsproblems und die damit verbundenen Ziele von Bedeutung sind. Damit ein direkter Vergleich der Alternativen vorgenommen werden kann, müssen alle Merkmale, die zur Beschreibung der Ausgestaltung herangezogen werden, für sämtliche Alternativen definiert werden können. Falls dies nicht möglich ist, empfiehlt es sich, nochmals die Alternativen oder die Merkmale zu prüfen und eventuell anzupassen. Werden z.B. drei Gebrauchtwagen und ein Motorrad als potenzielle Fahrzeuge miteinander verglichen, so kann nicht das Kriterium „Kofferraumvolumen“ für sämtliche Alternativen definiert werden. Es sollte folglich überlegt werden, ob dieses Kriterium geeignet ist. In diesem Sinne könnte beispielsweise der Schluss gezogen werden, dass als Kriterium eine auf einer Punkteskala bewertete „Transportfähigkeit“ der einzelnen Fahrzeuge anstatt des „Kofferraumvolumens“ aufgenommen wird.

Über die detaillierte Beschreibung der Alternativen und der damit verbundenen Auseinandersetzung mit dem Entscheidungsproblem als solches geht auch die Generierung weiterer Erkenntnisse einher. Die korrekte Abbildung der Alternativen ist jedoch bei komplexen Problemen mit einem hohen Datenermittlungsaufwand verbunden. Aufgrund des großen Einflusses auf das Ergebnis sollte jedoch trotzdem darauf geachtet werden, möglichst exakte und realistische Daten zu ermitteln.

Jedoch sollte sich nicht darauf beschränkt werden, nur die ursprünglichen Alternativen zu sammeln und deren Ausgestaltung zu definieren. Zusätzlich sollte eine Diskussion mit sämtlichen Entscheidungsträgern stattfinden, welche weiteren Alternativen denkbar sind. Diese weiteren Alternativen aufzudecken kann ein weiterer wertvoller Beitrag im Laufe der Anwendung einer MCDA-Methode sein, da hierdurch das Problembewusstsein verstärkt und neue Möglichkeiten aufgezeigt werden. Ein Ansatz zur Schaffung von Alternativen oder dem Aufdecken von neuen Lösungsansätzen könnte es sein, aus einer Defizitanalyse des bestehenden Zustandes potenzielle Alternativen abzuleiten. Des Weiteren können auch Kreativitätstechniken wie Brainstorming eingesetzt werden, um potenzielle Alternativen zu erschließen. Hinsichtlich der beispielhaften Problemstellung Mobilität könnten somit neben der alleinigen Fokussierung auf ein passendes Auto auch Alternativen wie ein Elektroroller identifiziert werden. Zum Auffinden passender Alternativen können auch zunächst die verfolgten Ziele gesammelt, um über diese geeignete Alternativen zu entdecken. Diese

Art des Vorgehens wird auch als „Value-Focused Thinking“ bezeichnet.⁶ Nachdem die Alternativen einmal festgelegt werden sollten diese jedoch im weiteren Verlauf regelmäßig in Absprache mit den Entscheidungsträgern geprüft werden. So kann beispielsweise nach der Ermittlung der entscheidungsrelevanten Kriterien der Fall auftreten, dass weitere Merkmale zur Definition der Alternativen herangezogen werden müssen. Dies kann wiederum dazu führen, dass weitere Alternativen denkbar sind und aufgenommen werden müssen. Auch im Zuge der Ermittlung der einzelnen Kriterienausprägungen, auf die in Abschnitt 3.1.6 näher eingegangen wird, besteht die Möglichkeit zu prüfen, ob die Stärken der einzelnen Alternativen eventuell durch eine weitere Alternative vereint werden können, welche dann aufgenommen werden sollte. Des Weiteren ist es in manchen Entscheidungsproblemen sinnvoll, den Status quo (oder eine andere Referenz) als Alternative aufzunehmen, um zu überprüfen, ob eine Veränderung in Form der identifizierten Alternativen überhaupt vorteilhaft ist.

Es wird daher deutlich, dass die Identifikation passender Alternativen ein Prozess ist, der im Verlauf diversen Anpassungen unterliegen kann.

Beispiel Autokauf: Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen

Nachdem das Ziel des Kaufs eines alltagstauglichen Gebrauchtwagens festgelegt wurde, geht die Familie dazu über, sich potenzielle Alternativen zu überlegen. Zunächst schlägt der Sohn vor, doch mal einen Neuwagen zu kaufen, schließlich wäre man nun zu dritt um ihn zu fahren, sodass es sich lohnen würde. Der Vater wirft sofort ein, dass ein Neuwagen aufgrund des hohen Anschaffungspreises nicht infrage kommt. Die Mutter pflichtet ihm bei und nach einer kurzen Diskussion wird sich darauf geeinigt, nach einem Gebrauchtwagen Ausschau zu halten.

Der Vater schlägt vor, wieder einen Kombi zu kaufen und zwar den Nachfolger vom vorherigen Wagen eines japanischen Herstellers, da dieser sich ja bewährt hat. Die Mutter bemerkt, dass auch ein Hybridfahrzeug Sinn machen könnte. Schließlich sei der Spritverbrauch geringer und es gibt bereits gebrauchte Wagen zu einem akzeptablen Preis. Somit wird auch ein Hybridmodell eines Kombis aufgenommen. Der Sohn wendet ein, dass für ihn ein sportliches Auto wichtig sei, dass auch eine gute Leistung bietet. Am besten eine Limousine mit Stufenheck. Der würde auch der Tochter gefallen. Da die Kinder an der Entscheidung beteiligt werden sollen, wird daher beschlossen, auch diese Variante aufzunehmen. Nachdem der örtliche Gebrauchtwagenmarkt sondiert wurde, stehen schließlich drei Wagen in der entsprechenden Ausgestaltung zur Auswahl: Kombi (Benziner), Kombi (Hybrid) und Limousine (Benzin).

⁶Keeney, R.L. (1992): Value-Focused Thinking: A Path to creative Decision Making, Harvard University Press, Cambridge

Beispiel Bioenergie: Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen

Der Dorfbewohner hat den Analysten kontaktiert und dieser bietet an, bei der nächsten Dorfversammlung gleich mitzuhelfen. Nachdem die Dorfbewohner zuvor festgelegt haben, dass ihr übergeordnetes Ziel darin liegt zu prüfen, ob eine nachhaltige energetische Nutzung von Biomasse möglich ist, wollen sie auf der zweiten Versammlung die Alternativen identifizieren. Der Analyst wird hierbei von einer Moderatorin unterstützt, der durch den Prozess führt und die Teilnehmer nach potenziellen Alternativen befragt. Einer der Landwirte erwähnt, dass viele seiner Kollegen eine Biogasanlage auf ihren Höfen unterhalten und den erzeugten Strom ins Netz einspeisen. So würde eine Möglichkeit darin bestehen, auch bei ihm auf dem Hof eine solche Anlage zu errichten. Daraufhin erwähnt ein anderer Bewohner, dass er in der Zeitung etwas über sogenannte Bioenergiedörfer gelesen hätte. Hierbei würden ganze Dörfer über Biogasanlagen mit Strom und Wärme versorgt, man müsste jedoch zusätzlich ein Nahwärmenetz errichten. Einer der Dorfbewohner, der als Ingenieur arbeitet, bemerkt zudem, dass eine solche Anlage schon im Nachbarort steht und es technisch auch möglich wäre, die Abwärme per Pipeline von dieser Anlage zu beziehen. Man müsste nur einmal beim Nachbarort anfragen. Somit wird beschlossen, dass drei Alternativen bewertet werden sollen: die Errichtung einer Biogaseinzelhofanlage, die Umsetzung des Bioenergiedorfkonzeptes und der Bau einer Pipeline zur Anlage im Nachbarort.

3.1.3 Ermittlung des Zielsystems

Im Zuge der Definition des Entscheidungsproblems besteht zumeist schon eine gewisse Vorstellung hinsichtlich des übergeordneten Ziels im Rahmen des Entscheidungsproblems. Dieses Verständnis gilt es nun zu konkretisieren, indem das Zielsystem ermittelt wird. Hierzu wird das übergeordnete Ziel in Unterziele aufgespalten. Diese können wiederum nochmals weiter spezifiziert werden.

Das Zielsystem stellt im weiteren Verlauf die Grundlage für die Ermittlung der Kriterienhierarchie dar. Es wird somit deutlich, dass die beiden Schritte **Ermittlung des Zielsystems** und **Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie** bei der praktischen Umsetzung zusammen erfolgen und iterativ Anpassungen vorgenommen werden.

Das Oberziel stellt hierbei den Ausgangspunkt für die Ermittlung des Zielsystems dar. Es weist zumeist nur eine „grobe Richtung“ auf und wird daher in konkretere Unterziele aufgeteilt. Bei der Identifikation von Ober- und Unterzielen mit den Entscheidungsträgern sind zudem diverse Aspekte zu beachten. So fällt es in der Praxis manchmal den Entscheidungsträgern schwer, ihre Ziele auszudrücken, sodass nur schwammige Formulierungen vorliegen. So ist z.B. „Nachhaltigkeit“ ein häufig genanntes, aber nur hinreichend definiertes Ziel. Es sollte daher versucht werden, die Ziele soweit wie möglich zu spezifizieren, wobei das Oberziel generell abstrakter ausfällt.

Bei mehreren Stakeholdern ist es zudem entscheidend, bereits bei der Ermittlung des Zielsystems sämtliche vorhandenen Perspektiven der Beteiligten zu erfassen und diese zu verdeutlichen, um Missverständnisse zu vermeiden. Im

besten Falle können so potenzielle Zielkonflikte im vornherein durch Moderation zwischen den Interessengruppen nicht nur aufgedeckt, sondern auch verhindert werden.

Die Diskussion der Ziele ist wichtiger Bestandteil und sollte ausführlich zwischen allen Beteiligten erfolgen. Während der Diskussion der passenden Formulierung der Ziele sollte parallel sichergestellt werden, dass die beschlossenen Ziele sich letztendlich auch in messbare Attribute überführen lassen, wie in 3.1.4 beschrieben wird. In der Theorie wird zudem gefordert, dass die Ziele voneinander unabhängig sein sollten. Bei der praktischen Umsetzung ist diese Anforderung jedoch nur schwer zu erfüllen, sodass diesbezüglich Kompromisse getroffen werden müssen.

Falls es den Entscheidungsträgern schwer fällt, potenzielle Ziele zu definieren, können beispielsweise über die Frage „*Wodurch unterscheiden sich Ihrer Meinung nach bezüglich des Entscheidungsproblems gute von schlechten Alternativen?*“ potenzielle Ziele aufgedeckt werden.

Beispiel Autokauf: Ermittlung des Zielsystems

Nun macht sich die Familie Gedanken darüber, welche Ziele sie eigentlich bei ihrer Entscheidung berücksichtigen wollen. Hierfür soll das Oberziel „Kauf eines alltagstauglichen Autos“ in weitere Unterziele unterteilt und hierüber spezifiziert werden. Die Mutter erwähnt zunächst, dass sie gerne ein umweltfreundlicheres Auto fahren möchte. Außerdem wäre ihr wichtig, dass der Wagen sicher ist. Zu viel kosten solle es auch nicht, wirft der Vater ein. Aber eine gewisse Leistung solle der Wagen schon haben und zum Transport zu gebrauchen sein. Die Kinder äußern dass es ihnen wichtig ist, dass das Auto gut aussieht. Die Familie sammelt die Ziele auf einer Liste und stimmt überein, dass alles Wesentliche erfasst wurde. Anhand der genannten Ziele vermutet der Vater zudem, dass eventuell auch ein bestimmter Kombi eines europäischen Herstellers, den er bei einem Kollegen gesehen hatte, den Anforderungen gut entsprechen könnte. Die Familie beschließt daher, diesen als weitere Alternative aufzunehmen.

Beispiel Bioenergie: Ermittlung des Zielsystems

Auf der nächsten Dorfversammlung gilt es nun, die Ziele der Beteiligten zu erfassen. Über die Zielerreichung sollen schließlich die untersuchten Alternativen bewertet werden. Die Moderatorin befragt die Teilnehmer, was ihnen bei der Realisierung der Alternativen wichtig ist. Ein Teilnehmer, der sich mit dem Thema Nachhaltigkeit schon intensiver auseinandergesetzt hat, erläutert kurz das Konzept des Dreiecks der Nachhaltigkeit. Er weist daher auch darauf hin, dass bei der Verfolgung eines nachhaltigen Konzepts zur energetischen Nutzung der lokalen Biomasse viele Aspekte zu berücksichtigen sind, die aus den Bereichen Ökologie, Ökonomie und Soziales kommen sollten. Dies überzeugt die anderen Teilnehmer und sie einigen sich darauf, geeignete Kriterien zu identifizieren, die ökologische, ökonomische und soziale Faktoren berücksichtigen.

3.1.4 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie

Auf Basis des formulierten Zielsystems lassen sich anschließend die relevanten Kriterien festlegen und in einer Kriterienhierarchie zusammenfassen. Bei der praktischen Anwendung ist für diesen Schritt genügend Zeit einzuplanen. Ein strukturiertes Vorgehen zur Identifizierung von Kriterien und die damit verbundene Diskussion führt in der Regel bei allen Beteiligten zu einem besseren Verständnis des Entscheidungsproblems und damit zu einer höheren Akzeptanz der gefundenen Lösung.

Zur Ermittlung der Kriterien kann entweder nach dem Prinzip *top-down* oder *bottom-up* vorgegangen werden.

Beim **Top-Down-Ansatz** wird explizit auf das formulierte Zielsystem zurückgegriffen und zur Ermittlung der Kriterien hierarchisch vorgegangen. Hierarchisch bedeutet in diesem Fall, dass das Problem über mehrere Ebenen immer detaillierter beschrieben wird und Unterziele in den jeweiligen Oberzielen zusammengefasst werden. Ein solches Vorgehen bietet nicht nur Vorteile hinsichtlich der späteren Festlegung von Gewichten, sondern es wird auch mittels des hierarchischen Vorgehens sichergestellt, dass ein logischer Zusammenhang zwischen Kriterien und Zielen besteht. Zudem werden hierüber die Kriterien in Gruppen gegliedert, wodurch das Verständnis für das Problem und dessen Konsequenzen erhöht werden kann und eventuelle Konflikte zwischen Kriterien veranschaulicht werden. So werden für sämtliche Unterziele nachvollziehbare Kriterien festgelegt, sie stellen somit die Grundlage zur Operationalisierung der einzelnen Ziele dar. Die Kriterien werden anschließend mittels Attributen konkretisiert. Dies bedeutet, dass den Attributen eine Maßeinheit (und ggf. ein dazugehöriger Wertebereich) sowie das Ziel einer Maximierung oder Minimierung zugeordnet wird. Sie beschreiben die Auswirkungen einer Alternative bezüglich des entsprechenden Kriteriums und stellen daher ein Maß für die Zielerreichung dar. Eine Möglichkeit zur Operationalisierung mittels Attributen stellt die Verwendung von Kennzahlen dar. Hierbei können entweder Grundkennzahlen (absolute Größen, z.B. Belegschaft in Personen oder Investition in Euro) oder Verhältniszahlen (relativ zu anderen Größen, z.B. Emissionsfaktoren wie Ausstoß in $g\ CO_2/km$) angesetzt werden.

Weiterhin stehen zur Messung der Attribute verschiedene Skalen zur Auswahl. Bei einer *Nominalskala* werden für das betrachtete Kriterium verschiedene Klassen angesetzt, in welche die Kriterienausprägungen der einzelnen Alternativen eindeutig eingeteilt werden können. Die einzelnen Klassen können hierbei jedoch nicht miteinander verrechnet. Beispiele für eine Nominalskala sind z.B. die Farbe eines Autos (rot, schwarz, weiß) oder der Produktionsstandort (Amerika, Asien, Europa).

Eine *Ordinalskala* geht einen Schritt weiter und trifft Aussagen zu Größer-/Kleiner-Beziehungen, jedoch lässt sich der exakte Unterschied zwischen den einzelnen Ausprägungen nicht messen. Sie basiert hierbei auf linguistischen Variablen. Mittels einer Ordinalskala kann daher schon eine Rangfolge erstellt werden, jedoch sind auch hierbei keine Verrechnungen der einzelnen Ausprägungen miteinander möglich. Ein Beispiel ist z.B. das Aussehen eines Autos (schön, neutral, unästhetisch).

Eine weitere Möglichkeit zur Abbildung stellt eine *Intervallskala* dar. Es wird wie bei der Ordinalskala eine Rangfolge erstellt, jedoch sind die Abstände zwischen den einzelnen Rängen messbar und stets identisch. Die genauen Abstände lassen sich hierbei willkürlich festlegen. Daher ist auch eine Verrechnung der einzelnen Ausprägungen miteinander möglich. Ein Beispiel für eine Intervallskala ist eine Temperaturmessung in °C.

Zudem ist eine Abbildung über eine *Verhältnisskala* möglich. Diese entspricht dem Vorgehen der Intervallskala, nur liegt ein natürlicher Nullpunkt als Ausgangspunkt vor. Ein Beispiel hierfür ist die Temperatur in Kelvin.

Des Weiteren kann über eine *absolute Skala* gemessen werden. In diesem Falle wird mittels reellen Zahlen und einer festgelegte Einheit gemessen, wobei keine Verhältnisse zueinander zu berücksichtigen sind. Die Skala ist somit dimensionslos. Ein Beispiel hierfür stellen Wahrscheinlichkeiten dar.

Die drei letztgenannten Skalen, die Intervall-, Verhältnis- und absolute Skala werden hierbei auch als *Kardinalskala* bezeichnet.

Es sollte schließlich mit sämtlichen Beteiligten überprüft werden, ob die ermittelte Kriterienhierarchie das Problem angemessen umschreibt und alle Interessen berücksichtigt. Dies ist insbesondere bei interdisziplinären Entscheidungsproblemen der Fall, da hierbei eine gemeinsame Sichtweise auf das Problem nicht von Beginn vorliegt, sodass eine gute Moderation während des Prozesses vorteilhaft ist. Sollte sich die Gruppe nicht auf eine Kriterienhierarchie einigen können, so besteht jedoch auch die Möglichkeit, verschiedene Sets an Kriterien anzusetzen und somit mehrere, gruppenspezifische Ergebnisse zu erzielen und diese miteinander zu vergleichen.

Neben dem zuvor beschriebenen Ansatzes eines Top-down Vorgehens besteht auch die Möglichkeit, die Hierarchie mittels eines **Bottom-up Ansatzes** zu ermitteln. Hierbei stellen die Alternativen den Ausgangspunkt dar und es wird überlegt, welche Stärken und Schwächen diese aufweisen sowie worin sie sich unterscheiden. Aus diesen Merkmalen sollen schließlich die entscheidungsrelevanten Kriterien abgeleitet werden. Weiterhin spielt der Einsatz von Kreativitätstechniken eine große Rolle. So kann z.B. mit den Entscheidungsträgern ein Brainstorming durchgeführt oder eine Kartenabfrage vorgenommen werden, um die Kriterien zu sammeln und in Kategorien zu ordnen.

Die Wahl des Ansatzes hängt schließlich von der Problemstellung ab und sollte zusammen mit den Entscheidungsträgern festgelegt werden.

Die Ermittlung und Offenlegung der Kriterien sollte so ausgestaltet sein, dass das komplette Entscheidungsproblem und sämtliche damit verbundenen Ziele erfasst und abgebildet werden. Dies bedeutet, dass alle Faktoren, die für die Entscheidung von Bedeutung sind, berücksichtigt werden. Das Ergebnis soll demnach nicht durch vernachlässigte, aber eigentlich relevante Kriterien verfälscht werden. Andererseits ist jedoch auch darauf zu achten, dass sich die Kriterien in ihrer Relevanz bezüglich der einzelnen Ziele nicht überschneiden, folglich eine doppelte Berücksichtigung des gleichen Anliegens unterbleibt. So sind z.B. die beiden Kriterien „niedriger Unterhalt“ und „niedriger Spritverbrauch“ darüber verbunden, dass ein geringer Verbrauch auch zu geringeren Unterhaltskosten führt. Um die Vollständigkeit der Kriterien zu gewährleisten ist daher eine hierarchische Ermittlung vorteilhaft.

Zudem sollten die einzelnen Kriterien möglichst unabhängig voneinander sein. Dies bedeutet, dass eine schlechte Ausprägung bzgl. eines Kriteriums nicht logischerweise auch zu einer schlechteren Bewertung hinsichtlich eines weiteren Kriteriums führen sollte. Dieser Umstand ist jedoch in Realität nur schwer einzuhalten, da gewisse Abhängigkeiten zwischen Kriterien nicht immer auszuschließen sind. Jedoch liegt auch im Identifizieren von Abhängigkeiten ein Erkenntnisgewinn. Ein Weg, Abhängigkeiten zu identifizieren ist es zu überprüfen, ob die Ermittlung einer der in Abschnitt 3.1.6 beschriebenen Kriterienausprägung durchgeführt werden kann, ohne Kenntnis von dem Abschneiden bezüglich eines anderen Kriteriums zu haben. Sollten schließlich Abhängigkeiten auftreten, so sollte überprüft werden, ob die Kriterien in einem Kriterium zusammengefasst werden können.

Das jeweilige Entscheidungsproblem und die damit verbundenen Ziele sollten weiterhin durch eine möglichst kleine Anzahl an entscheidungsrelevanten Kriterien abgebildet werden. Hierin liegt in der Praxis eine besondere Herausforderung, da bei realen Entscheidungsproblemen häufig sehr viele Kriterien von den Entscheidungsträgern genannt werden. Dies ist insbesondere bei Entscheidungen der Fall, die ökologische Kriterien berücksichtigen. Eine Möglichkeit zur Verkürzung der Liste an Kriterien ist es zu analysieren, ob nicht zwei oder mehrere Kriterien durch ein Kriterium erfasst werden können, welches die Auswirkungen der anderen Kriterien hinreichend gut abbildet. Es existiert jedoch keine allgemein gültige Grenze, wie viel Kriterien maximal angesetzt werden sollten, da jedes Entscheidungsproblem individuell ist. Häufig werden jedoch zwischen 6 und 20 Kriterien als angemessen angesehen. Bei komplexen Problemen, wie z.B. der Wahl eines nachhaltigen Energiekonzepts, sind jedoch auch deutlich mehr Kriterien möglich. Da eine große Anzahl an Kriterien mit einem erheblichen Datenerhebungsaufwand einhergeht, besteht auch aus diesem Grund ein Interesse, die Anzahl an Kriterien möglichst klein zu halten.

Beispiel Autokauf: Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie

Nun überlegt die Familie, wie sich ihre Ziele in Kriterien überführen lassen, die auch messbar sein sollen. Zunächst überlegen sie, wie man denn die Umweltverträglichkeit des Wagens abbilden könne. Als die kleine Tochter daraufhin fragt, was denn bitte am Autofahren umweltfreundlich sei, antwortet die Mutter, dass die ausgestoßenen Emissionen möglichst gering sein sollen. Um dies zu messen, könnte der CO₂-Ausstoß in g pro km als Attribut herangezogen werden. Dieser könnte auch leicht im Internet recherchiert werden.

Um das Ziel Sicherheit einzubinden, soll als Kriterium das jeweilige Abschneiden in Sicherheitstests angesetzt werden. Um dieses zu bestimmen schlägt der Vater vor, einfach ein paar Testberichte zu lesen und dann entsprechend Noten zu verteilen auf einer Skala von 1 (sehr sicher) bis 6 (sehr unsicher).

Zur Abbildung der Kosten wird beschlossen, als Kriterien den Anschaffungspreis, die Unterhaltungskosten für Reparaturen und den Spritverbrauch zu nehmen. Die Mutter ergänzt hierzu, dass ein geringer Spritverbrauch auch gut für

die Umwelt ist. Nach einer kurzen Diskussion wird sich jedoch darauf geeinigt, den Spritverbrauch bei den Kosten zu erfassen.

Ein weiteres Ziel liegt in der Alltagstauglichkeit, die über die Leistung in PS und dem Volumen des Kofferraums in Litern definiert sein soll.

Um Letztendlich noch das Aussehen des Wagens zu bewerten, schlägt der Sohn vor, die Karosserie und den Innenraum separat zu bewerten und auch eine Skala von 1 (sehr schön) bis 6 (unästhetisch) zu verwenden. Das Problem lässt sich daher anhand der folgenden Kriterienhierarchie in Abbildung 1 auf Seite 7 darstellen.

Beispiel Bioenergie: Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie

Die Teilnehmer überlegen nun, wie sich die ökologischen, ökonomischen und sozialen Ziele in Kriterien überführen und anschließend messen lassen. Um das Problem strukturiert zu erfassen schlägt der Analyst vor, eine Kriterienhierarchie aufzustellen und hierbei Schritt für Schritt vorzugehen.

Als erstes sollen die Kriterien aus dem Bereich Ökologie ermittelt werden. Ein Teilnehmer bemerkt sogleich, dass ja ein Ziel darin bestehen müsste, die ausgestoßenen Treibhausgase zu verringern. Um dies zu messen, könnten für sämtliche Alternativen im Rahmen einer Ökobilanz die CO₂-Äquivalente gemessen werden. Einer der Landwirte, der sich für Ökolandbau interessiert, bemerkt zudem, dass verwendeten Substrate und die damit verbundene Fruchtfolge wichtig sind. Dieser Aspekt könnte über die Anzahl an angebauter Kulturarten abgebildet werden. Schließlich wird entschieden, diese beiden Kriterien zu verwenden, um die Alternativen aus ökologischer Sicht zu bewerten.

Einer der Teilnehmer weist darauf hin, dass es zudem aus ökonomischer Perspektive schön wäre, wenn bestehende Arbeitsplätze durch die Realisierung gesichert oder gar neue geschaffen werden würden. Ein anderer Bewohner ergänzt zudem, dass es sich auch rechnen soll. Letztendlich wird beschlossen, für die ökonomische Dimension als Kriterien die Anzahl der Arbeitsplätze und den Wärmepreis in Euro anzusetzen.

Abschließend sollen die sozialen Faktoren ermittelt werden. So wird erwähnt, dass ein positiver Aspekt darin liegen könnte, das Image des Dorfes zu verbessern, sodass eventuell junge Familien angelockt werden. Dies zu messen ist jedoch schwierig. Einer der Teilnehmer erklärt sich aber bereit, einmal zu recherchieren, ob es Studien hierzu gibt, deren Ergebnisse man für eine Bewertung nutzen könnte. Weiterhin ist einer der Teilnehmer besorgt, dass das Aussehen der Landschaft durch den Anbau der Energiepflanzen langfristig negativ beeinträchtigt wird. Um dies zu bewerten wird beschlossen, eine Umfrage im Dorf durchzuführen, in deren Rahmen die Bewohner verschiedene Konzepte zum Anbau von Energiepflanzen bewerten sollen.

Schließlich lässt sich das Problem durch die in Abbildung 4 aufgeführte Kriterienhierarchie abbilden.

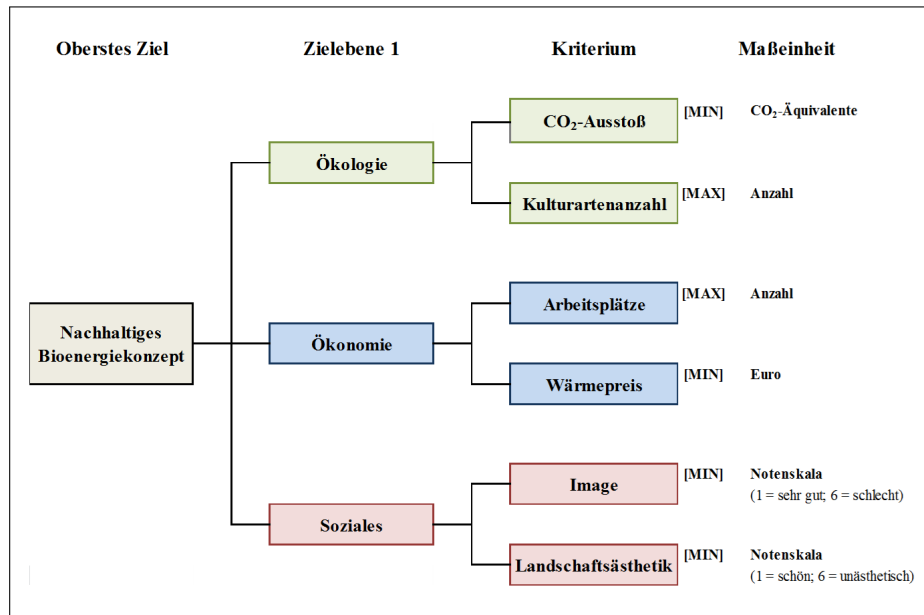


Abbildung 4: Beispiel Bioenergie: Kriterienhierarchie

3.1.5 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion

Mittels der Offenlegung der Präferenzen soll identifiziert werden, in welchem Maße der Entscheidungsträger positive oder negative Einstellungen gegenüber den mit den Alternativen verbundenen Konsequenzen aufweist. In der Offenlegung und Darstellung dieser Präferenzen liegt somit ein bedeutendes Ziel von MCDA-Verfahren. Um die Präferenzen in der Praxis darzustellen, können verschiedene Präferenzbegriffe, sogenannte Präferenzrelationen, verwendet werden. Diese umfassen: Tabelle Präferenzrelationen

Um die Präferenzen offenzulegen, wird auf zwei Aspekte zurückgegriffen: zum einen wird mittels einer Werte- bzw. Nutzenfunktion gemessen, wie hoch die Präferenz einer Alternative bezüglich eines Kriteriums ist (dies wird auch als Höhenpräferenz definiert), zum anderen wird über die in 3.1.7 beschriebene Kriteriengewichtung abgebildet, wie wichtig das entsprechende Kriterium für das gesamte Entscheidungsproblem ist (Artenpräferenz). Über die Kombination aus beiden Aspekten wird schließlich die Präferenz des Entscheidungsträgers ausgedrückt und abgeleitet.

Zur Erhebung der Präferenzen (Höhenpräferenz) werden sogenannte Werte- bzw. Nutzenfunktionen verwendet. Die Ausgestaltung dieser Funktionen ist hierbei abhängig von der gewählten MCDA-Methode, mittels derer letztendlich das Ergebnis ermittelt werden soll. Die Funktionen geben einen numerischen Präferenzwert an, der aus dem Zielerreichungsgrad oder Nutzenwert einer Kriterienausprägung einer Alternative bezüglich eines Kriteriums resultiert. Die Präferenzen werden daher an dieser Stelle über die Ausgestaltung der Präferenz- bzw. Nutzenfunktion abgebildet, auf deren Basis die Performance der in Abschnitt 3.1.6 beschriebenen Kriterienausprägungen bewertet wird.

Um über Wertefunktionen die Präferenzen zu identifizieren, ist eine Normierung sinnvoll, wobei meistens Werte von 0 (geringste Kriterienausprägung) bis

1 (höchste Kriterienausprägung) in Abhängigkeit von der Bandbreite der Kriterienausprägungen angesetzt werden. Hierüber wird sichergestellt, dass die Präferenzen zwischen den Kriterien vergleichbar bleiben. So ist z.B. bezüglich des Kaufs eines Neuwagens ein Unterschied bei dem Kriterium „Monatliche Unterhaltskosten“ in Höhe von 200 Euro zwischen den Alternativen gravierender anzusehen als ein Unterschied in identischer Höhe hinsichtlich des Kaufpreises. Es wird daher deutlich, dass die praktische Ermittlung der Präferenzen mit den Kriteriengewichtungen verbunden ist und daher gemeinsam bedacht werden sollte. Da das exakte Vorgehen zur Messung der Präferenz mittels Werte- bzw. Nutzenfunktion jedoch von der gewählten Methode abhängig ist, wird für eine detailliertere Beschreibung der Berechnungen auf Kapitel 4 verwiesen.

Beispiel Autokauf: Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion

Die Familie möchte nun die Rahmenbedingungen festlegen, anhand derer die Präferenzen offen gelegt werden sollen. Die Mutter hat sich hierfür bei einem Kollegen erkundigt, der ihr die Funktionsweise der Präferenzfunktionen von PROMETHEE erläutert hat. Die Mutter stellt den anderen Familienmitgliedern daher das Konzept der Präferenzfunktionen kurz vor und anschließend überlegen sie zusammen, welche Funktionen geeignet wären, um die einzelnen Kriterien abzubilden. Für die Kriterien, die auf einer Notenskala beruhen, wird beschlossen, dass für diese das gewöhnliche Kriterium vom Typ 1 angesetzt werden soll, d.h. wenn eine Alternative besser abschneidet, wird diese strikt präferiert. Hinsichtlich des Kofferraumvolumens wird die Präferenzfunktionen von Typ 5 angesetzt, da eine Differenz von bis zu 50 Litern von den Familienmitgliedern als nicht entscheidungsrelevant erachtet wird. Für die restlichen Kriterien wird das Kriterium mit linearer Präferenz vom Typ 3 verwendet, um auch schwache Präferenzen bei geringen Unterschieden zuzulassen. Die beispielhafte Präferenzfunktion für das Kriterium „Anschaffungspreis“ ist in Abbildung 5 abgebildet. Nach einiger Zeit einigt sich die Familie schließlich auf die Zuordnung der Präferenzfunktionen sowie die dazugehörigen Grenzwerte (für eine genaue Erläuterung der Funktionsweise der Präferenzfunktionen, siehe Kapitel 4) gemäß Tabelle 3, von welchen ausgegangen wird, dass sie die Präferenzen der Familie hinreichend abbilden.

Kriterium	Min/Max	Präferenzfunktion	q-Wert	p-Wert
Umweltfreundlichkeit	Min	Typ 3	-	20
Sicherheit	Min	Typ 1	-	-
Anschaffungspreis	Min	Typ 3	-	4.000
Unterhaltskosten	Min	Typ 3	-	40
Spritverbrauch	Min	Typ 3	-	2
Leistung	Max	Typ 3	-	30
Kofferraumvolumen	Max	Typ 5	50	150
Aussehen Karosserie	Min	Typ 1	-	-
Aussehen Innenraum	Min	Typ 1	-	-

Tabelle 3: Beispiel Autokauf: Präferenzfunktionen

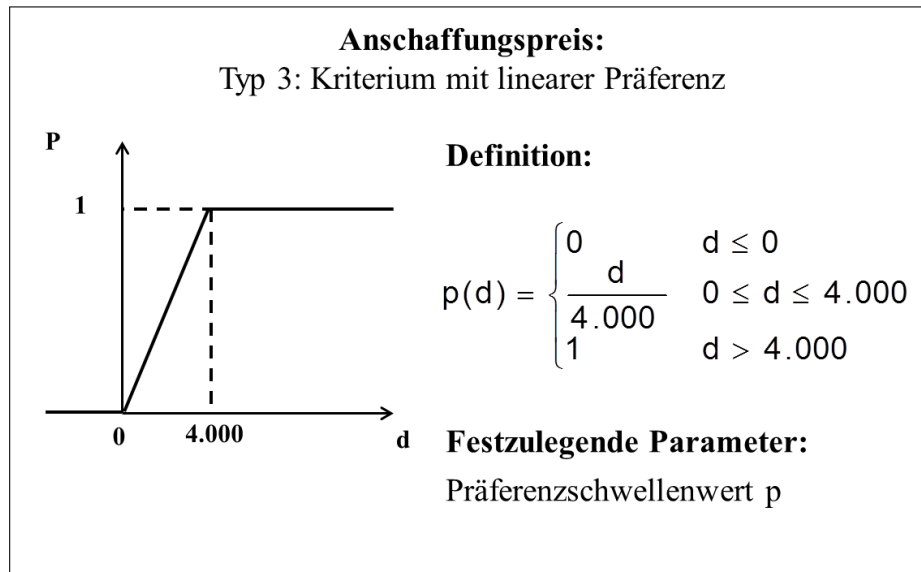


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Präferenzfunktion für den Anschaffungspreis

Kriterium	Min/Max	Präferenzfunktion	q-Wert	p-Wert
CO ₂ -Ausstoß	Min	Typ 5	1.000	2.000
Kulturartenanzahl	Max	Typ 5	1	2
Arbeitsplätze	Max	Typ 1	-	-
Wärmepreis	Min	Typ 5	0,02	0,10
Image	Min	Typ 2	1	-
Landschaftsästhetik	Min	Typ 2	1	-

Tabelle 4: Beispiel Bioenergie: Präferenzfunktionen

Beispiel Bioenergie: Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion

Auf der zweiten Dorfversammlung sollen nun auch die Rahmenbedingungen festgelegt werden, anhand derer die Präferenzen offen gelegt werden. Der Analyst stellt den Teilnehmern hierfür das Konzept der Präferenzfunktionen kurz vor und anschließend überlegen sie zusammen, welche Funktionen geeignet wären, um die einzelnen Kriterien abzubilden.

Schließlich entscheiden sich die Teilnehmer, für die quantitativen Kriterien die Präferenzfunktion vom Typ 5 und für die qualitativen Kriterien die Funktion vom Typ 2 zu verwenden (für eine genaue Erläuterung der Funktionsweise der Präferenzfunktionen, siehe Kapitel 4). Einzige Ausnahme stellen die Arbeitsplätze dar. Hier wird die Präferenzfunktion vom Typ 1 eingesetzt um zu erfassen, dass eine Alternative zu strikter Präferenz hinsichtlich dieses Kriteriums führt, sobald sie mehr Arbeitsplätze schafft. Anschließend werden die in Tabelle 4 aufgeführten Schwellenwerte festgelegt, sodass alle Präferenzfunktionen definiert sind.

3.1.6 Bestimmung der Kriterienausprägungen für die einzelnen Alternativen

Anschließend können für die einzelnen Alternativen die Kriterienausprägungen ermittelt werden. Hierbei handelt es sich um den Wert, den die Alternativen hinsichtlich der Kriterien aufweisen. Dieser Schritt kann hierbei auch schon vor der Ermittlung der Präferenzfunktionen erfolgen.

Um die Kriterienausprägungen zu bestimmen, wird für jedes Kriterium das entsprechende Attribut herangezogen. Anhand des Attributes und der damit verbundenen Einheit kann nun ermittelt werden, welchen Wert die einzelnen Alternativen bezüglich der Kriterien aufweisen. Dieser Wert wird hier als Kriterienausprägung bezeichnet.

Die Kriterienausprägungen lassen sich in der sogenannten **Entscheidungstabelle** zusammenfassen aufgeführt ist. Innerhalb dieser werden sämtliche Kriterienausprägungen aufgeführt, welche die Alternativen hinsichtlich der einzelnen Kriterien aufweisen. Die Entscheidungsmatrix (vgl. z.B. Tabelle 5) bietet daher einen guten Überblick über die Eingangsgrößen, die in die Bewertung des Entscheidungsproblems eingehen und für diese den Rahmen festlegen. Sie sollte daher intensiv zusammen mit sämtlichen Entscheidungsträgern besprochen werden. Des Weiteren lässt sich über die Entscheidungsmatrix überprüfen, ob eine Alternative die anderen dominiert bzw. durch eine andere dominiert wird. Eine Alternative gilt als dominiert, wenn eine andere Alternative bezüglich sämtlicher Kriterien bessere Ausprägungen aufweist. Tritt der Fall einer Dominanz auf, so sollte die Kriterienhierarchie nochmals überdacht werden, da eventuell das Problem nicht umfassend genug abgebildet wird. Weiterhin sollte kein Ausschluss einer dominierten Alternative vorgenommen werden, da dieser bei einigen Verfahren dazu führen kann, dass sich die Rangfolge zwischen den anderen Alternativen ändert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, auch eine dominierte Alternative weiterhin beizubehalten, weil sie als Vergleich dient. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass der Ausschluss nicht zu einem Informationsverlust führt. Auch in der Aufdeckung von dominierten Alternativen liegt ein wertvoller Erkenntnisgewinn bei einer Anwendung von MCDA-Methoden. Andersherum ist es auch möglich, dass eine Alternative sämtliche andere Alternativen bezüglich der Kriterienausprägungen übertrifft. Hierdurch wäre die Ideallösung gefunden, jedoch sollte sichergestellt werden, ob sämtliche Alternativen und Kriterien aufgenommen wurden und das Entscheidungsproblem adäquat abgebildet wurde.

Für die Ermittlung der Kriterienausprägungen bieten sich mehrere Quellen an. Zunächst sollten vorliegende quantitative Daten verwendet werden, wie z.B. der Kaufpreis oder der durchschnittliche Spritverbrauch der zur Auswahl stehenden Autos. Für einige Kriterien können Expertenmeinungen herangezogen werden, wie z.B. für die Benutzerfreundlichkeit. Bei komplexen Entscheidungsproblemen sind oft auch verschiedene Experten aus unterschiedlichen Fachrichtungen zu beteiligen, wie bei der Auswahl eines Energieversorgungskonzepts für eine größere Region.

Manchmal ist es auch möglich, seitens des Analysten bestimmte Kriterienausprägungen über die Anwendung von mathematischen Methoden oder Soft-

ware herzuleiten, wie z.B. mittels der Durchführung einer Ökobilanzierung. Weitere potenzielle Quellen stellen Literaturrecherchen oder eigene Datenerhebungen, Experimente bzw. Umfragen dar.

Ungeachtet der gewählten Quelle als Datengrundlage sollten die damit verbundenen Annahmen stets möglichst transparent aufgeführt werden, damit diese für sämtliche Entscheidungsträger nachvollziehbar sind. Oft ist es hilfreich, wenn verschiedene Experten aus unterschiedlichen Fachrichtungen nochmals das gesamte Entscheidungsproblem reflektieren und die erhobenen Daten kritisch prüfen. Bei der Bestimmung der Kriterienausprägungen besteht die größte Herausforderung darin, dass die benötigten Daten manchmal nicht vorhanden sind, nur unscharf ausgedrückt oder gemessen werden können oder mit großer Unsicherheit verbunden sind. Bei der Ermittlung der Daten ist zudem wichtig, die Kriterienausprägungen möglichst objektiv zu ermitteln und die subjektive Bewertung erst über die Äußerung der Präferenzen der Entscheidungsträger einfließen zu lassen.

Ein Vorteil von MCDA-Methoden ist zudem, dass quantitative und qualitative Kriterien einbezogen werden können. Ausprägungen von quantitativen Kriterien können direkt mit dem jeweiligen Wert in der Entscheidungstabelle abgebildet werden. Bei qualitativen Kriterien ist es jedoch häufig sinnvoll, diese zunächst in eine Kardinalskala zu überführen. So kann z.B. der Anschaffungspreis direkt mit dem jeweiligen Preis der einzelnen Gebrauchtwagen aufgeführt werden, wohingegen ein qualitatives Kriterium wie das Aussehen erst in eine Skala, beispielsweise eine Notenskala, überführt werden muss.

Sollten zu manchen Alternativen keine Daten vorliegen, so existieren diverse Vorgänge, hiermit umzugehen. Ein Ansatz besteht darin, einfach an der entsprechenden Stelle von einem Wert Null auszugehen. Dieses Vorgehen ist jedoch kritisch, falls geplant ist eine Methode anzuwenden, die auf Paarvergleichen beruht (z.B. Outranking-Verfahren), da hierbei aufgrund der Bewertung mittels Differenzen Verfälschungen resultieren können. Aber auch bei klassischen Verfahren wie der Nutzwertanalyse kann es zu Problemen führen.

Sollten bei der Datenerhebung Unsicherheiten auftreten, so gibt es verschiedene Ansätze mit diesen umzugehen. Eine genauere Übersicht hierzu findet sich in Abschnitt 3.2.

Beispiel Autokauf: Bestimmung der Kriterienausprägungen für die einzelnen Alternativen

Nachdem das Problem des Autokaufs weitestgehend aufbereitet wurde, beschließt die Familie nun die Ausprägungen der Alternativen für die einzelnen Kriterien zu recherchieren. Um diese zu bestimmen, greift die Familie auf verschiedene Quellen wie das Internet oder Testberichte in Fachzeitschriften zurück. Außerdem trifft sie sich an einem Abend, um zusammen die verschiedenen Autos hinsichtlich des Aussehens zu bewerten. Hierfür darf jedes Familienmitglied die Autos einzeln mit Punkten bewerten und am Ende wird der Durchschnitt angesetzt. Es ergibt sich schließlich die folgende Entscheidungstabelle gemäß Tabelle 5.

Kriterium	Einheit	Kombi jap.	Kombi eur.	Kombi hybr.	Limousine
Umweltfreundlichkeit	g CO ₂ /km	120	130	104	155
Sicherheit	Note	3	2	3	2
Anschaffungspreis	Euro	6.000	8.000	12.000	14.000
Unterhaltskosten	Euro	220	210	190	290
Spritverbrauch	l/100 km	6,2	6,5	4,8	8,2
Leistung	PS	120	145	130	185
Kofferraumvolumen	l	620	690	540	410
Aussehen Karosserie	Note	4	3	4	2
Aussehen Innenraum	Note	5	2	3	1

Tabelle 5: Beispiel Autokauf: Entscheidungstabelle

Kriterium	Einheit	Biogasanlage	Bioenergie-dorf.	Pipeline.
CO ₂ -Ausstoß	CO ₂ -Äquivalente	- 13.724	-12.543	- 13.322
Kulturartenanzahl	Anzahl	4	3	2
Arbeitsplätze	Anzahl	1	2	0
Wärmepreis	Euro	0,15	0,08	0,12
Image	Schulnote	4	2	3
Landschaftsästhetik	Schulnote	4	4	2

Tabelle 6: Beispiel Bioenergie: Entscheidungstabelle

Beispiel Bioenergie: Bestimmung der Kriterienausprägungen für die einzelnen Alternativen

Nachdem die Kriterienhierarchie ermittelt und die dazugehörigen Präferenzfunktionen definiert wurden, gilt es nun, die Ausprägungen für die einzelnen Alternativen zu ermitteln. Hierfür wird die Zeit bis zur nächsten Dorfversammlung genutzt, um dort die ausgefüllte Entscheidungstabelle zu diskutieren. Der Großteil der Daten wird von den Analysten recherchiert, die zur Ermittlung auf verschiedene Quellen heranziehen, wie z.B. Datenbanken. Andere Größen wie der Wärmepreis werden über Methoden der Investitionsrechnung geschätzt. Zudem wird zur Bestimmung der Landschaftsästhetik die angekündigte Umfrage bei den Bewohnern durchgeführt. Schließlich ergibt sich die folgende Entscheidungstabelle gemäß Tabelle 6.

3.1.7 Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung

Die exakte Aussage und Interpretation des Gewichtes eines Kriteriums hängt von der gewählten MCDA-Methode und der damit verbundenen Problemaufbereitung ab. Generell wird über das Gewicht dem jeweiligem Kriterium die Bedeutung hinsichtlich der subjektiven Präferenzen des Entscheiders zugeordnet. Bei Methoden wie PROMETHEE, die bereits auf Präferenzfunktionen beruhen, gibt die Gewichtung die Bedeutung des Kriteriums für das Gesamtproblem wieder. Die Differenzen zwischen den einzelnen Ausprägungen müssen hierbei nicht berücksichtigt werden, da diese bereits über die Präferenzfunktion, die auf Differenzen basiert, erfasst werden. Bei Verfahren die auf Nutzenfunktionen basieren, wie z.B. der Nutzwertanalyse, muss bei der Festlegung der Gewichtung jedoch zusätzlich die Bandbreite der einzelnen Gewichtungen durch den Entscheidungsträger einbezogen werden. Das Gewicht drückt somit aus, wie stark die Alternativen bezüglich eines Kriteriums variieren und wie wichtig

diese Bandbreite an unterschiedlichen Ausprägungen hinsichtlich des entsprechenden Kriteriums für das Gesamtproblem ist.

Ein einfacher Ansatz zur Ermittlung besteht darin, für alle Kriterien ein identisches Gewicht anzusetzen. Nachteilig ist hierbei jedoch, dass nicht die individuellen Ziele und Präferenzen des Entscheidungsträgers berücksichtigt werden. Somit gehen nicht nur wertvolle Informationen verloren, sondern auch das Ergebnis spiegelt eventuell nicht die Ansichten des Entscheidungsträgers wider. Daher ist ein verbreitetes Vorgehen, individuelle Gewichte durch den Entscheidungsträger zuordnen zu lassen. Die Ermittlung der Kriteriengewichtung stellt hierbei einen der Teile im Entscheidungsprozess dar, der die höchste Interaktion mit den Entscheidungsträgern erfordert und durch stark subjektive Einstellungen geprägt ist.

Im Rahmen der Gewichtung können verschiedene Ansätze verwendet werden, um die Zuordnung der Präferenz auszudrücken. So ist es einerseits möglich, die Gewichtung anhand von Rangfolgen abzuleiten. Weiterhin ist auch die Zuordnung eines numerischen Wertes oder eine verbale Bewertung möglich. Im Allgemeinen wird das Gewicht über einen Wert im Intervall zwischen 0 und 1 repräsentiert, wobei i.d.R. alle Gewichte in Summe 1 ergeben müssen. Andere Intervalle sind jedoch auch möglich.

Um numerische Werte für die einzelnen Gewichtungen vom Entscheidungsträger zu erhalten, stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. Eine strukturierte Ermittlung der Gewichte über eine dieser etablierten Methoden stellt eine gute Unterstützung dar, da dem Entscheidungsträger die einfache Zuordnung nach „Wichtigkeit“ schwer fallen kann. Die strukturierte Ermittlung führt hierbei auch zur Offenlegung weiterer Informationen bezüglich der eigenen Präferenzen. Im weiteren Verlauf werden ausgewählte Gewichtungsmethoden näher erläutert.

Die **SMART** (Simple Multi-Attribute Rating Technique)-Methode weist die Vorteile auf, dass sie einfach umzusetzen und leicht verständlich ist. Bei SMART wird so vorgegangen, dass der Entscheidungsträger dem Kriterium, das er als Wichtigstes erachtet, zunächst 100 Punkte zuordnet. Die Wichtigkeit dieses Kriteriums gilt von nun an als Referenz für die Punktezuordnung der weiteren, weniger wichtigen Kriterien. So werden den anderen Kriterien anschließend, je nach relativer Wichtigkeit im Verhältnis zum wichtigsten Kriterium, weniger Punkte zugeordnet. Abschließend wird die vergebene Menge an Punkten aufsummiert, sodass sich das Gewicht für jedes Kriterium aus dem Anteil der eigenen Punkte an der Gesamtheit errechnet.

Das Vorgehen der SMART-Methode soll anhand eines kurzen vereinfachten Beispiels verdeutlicht werden: Es sollen wieder drei verschiedene Autos (Alternativen) anhand von drei Kriterien (Anschaffungspreis (Euro), Verbrauch (l/100 km) und Aussehen (Schulnote)) bewertet werden. Wird nun der Anschaffungspreis als wichtigstes Kriterium erachtet, wird zunächst diesem der Wert 100 zugeordnet. Den anderen Kriterien wird jetzt je nach deren Wichtigkeit in Relation zum wichtigsten Kriterium Anschaffungspreis ein Wert zwischen 0 und 100 gegeben. Wird beispielsweise der Verbrauch durch den Entscheidungsträger nur als geringfügig unwichtiger als der Anschaffungspreis gesehen, ordnet der Entscheider diesem Kriterium z.B. 80 Punkte zu. Das Aus-

sehen wird als verhältnismäßig unwichtig erachtet und bekommt 20 Punkte. Die Gewichte ergeben sich damit auf Basis der insgesamt vergebenen Punkte folgendermaßen:

$$\text{Anschaffungspreis: } \frac{100}{(100+80+20)} = \frac{100}{200} = 0,5 \text{ bzw. } 50 \%$$

$$\text{Verbrauch: } \frac{80}{(100+80+20)} = \frac{80}{200} = 0,4 \text{ bzw. } 40 \%$$

$$\text{Aussehen: } \frac{20}{(100+80+20)} = \frac{20}{200} = 0,1 \text{ bzw. } 10 \%$$

Bei der **SWING**-Methode wird zur Ermittlung der Gewichtung zunächst der sogenannte „Swing“ für die einzelnen Kriterien berechnet. Als „Swing“ wird hierbei der Wechsel vom schlechtesten Wert einer Kriterienausprägung hinsichtlich eines Kriteriums zum besten Wert verstanden. Um diesen festzulegen, wird eine fiktive Alternative eingeführt, die für sämtliche Kriterien die schlechteste Ausprägung aufweist. Nun wird gefragt, hinsichtlich welchen Kriteriums der Entscheidungsträger einen „Swing“ hin zu der jeweilig besten vorhandenen Ausprägung vorziehen würde. Dies wird über künstliche Alternativen dargestellt, wobei für jedes Kriterium eine eigene künstliche Alternative eingeführt wird, die bzgl. des entsprechenden Kriteriums den Höchstwert und hinsichtlich der anderen Kriterien weiterhin die schlechteste Ausprägung aufweist. Anschließend gibt der Entscheidungsträger an, welches Kriterienausprägung er anschließend als zweites, drittes usw. erhöhen würde, sodass eine Rangfolge der Kriterien bzw. künstlichen Alternativen erzielt wird. Um letztendlich die konkreten Gewichte zu quantifizieren, wird ähnlich vorgegangen wie bei der SMART-Methode. Das Kriterium bzw. die künstliche Alternative mit dem größten „Swing“ erhält folglich 100 Punkte, die fiktive Ausgangsalternative mit den schlechtesten Ausprägungen erhält den Wert Null. Den anderen künstlichen Alternativen bzw. Kriterien wird nun vom Entscheider gemäß dem empfundenen relativen Wert ein Wert zwischen 0 und 100 zugeordnet, wodurch abschließend auf Basis der Summe aller Punkte wiederum das jeweilige Gewicht zugeordnet werden kann.

Basierend auf den Werten des vorherigen Beispiels könnte die Ermittlung der einzelnen Gewichtungen mittels der SWING-Methoden folgendermaßen geschehen: In Hinblick auf die drei angesetzten Kriterien Anschaffungspreis, Verbrauch und Aussehen würde nun eine fiktive Alternative eingeführt, die für sämtliche Kriterien die schlechteste Ausprägung aufweist. Nehmen wir an die untersuchten Alternativen weisen hinsichtlich der Kriterien die folgenden Ausprägungen auf:

$$A_1 = (12.000\text{Euro}, 7\text{l}/100\text{km}, 4)$$

$$A_2 = (15.000\text{Euro}, 6\text{l}/100\text{km}, 3)$$

$$A_3 = (14.000\text{Euro}, 8\text{l}/100\text{km}, 1)$$

Dementsprechend wäre die fiktive Alternative dann:

$$A_{FA} = (15.000\text{Euro}, 8\text{l}/100\text{km}, 4)$$

Nun müsste der Entscheidungsträger bestimmen, bei welchem Kriterium er einen „Swing“ zur besten Ausprägung bevorzugen würde. Um dies zu ermitteln, werden ihm die folgenden drei Alternativen vorgeführt:

$$A_{FA1} = (12.000Euro, 8l/100km, 4)$$

$$A_{FA2} = (15.000Euro, 6l/100km, 4)$$

$$A_{FA3} = (15.000Euro, 8l/100km, 1)$$

Nun gibt der Entscheider eine Reihenfolge an, in der er die drei fiktiven Alternativen bevorzugen würde. Entscheidet er sich z.B. als erstes für Alternative A_{FA2} , dann für A_{FA1} und anschließend für A_{FA3} als schlechteste Alternative, so werden im Anschluss identisch zur SMART-Methode Punkte zugeordnet, um die Gewichte zu ermitteln. Gemäß dem Beispiel würde das Kriterium Verbrauch 100 Punkte zugeordnet bekommen, da Alternative A_{FA2} bevorzugt wurde. Den anderen Alternativen würde dann entsprechend des jeweiligen „Swing“ vom Entscheider Punkte zugeordnet. Angenommen der Entscheider ordnet dem zweiten Kriterium Anschaffungspreis 90 Punkte zu und dem dritten Kriterium Aussehen 40 Punkte, so ergeben sich die folgenden Gewichtungen:

$$\text{Anschaffungspreis: } \frac{90}{(90+100+40)} = \frac{90}{230} = 0,39 \text{ bzw. } 39 \%$$

$$\text{Verbrauch: } \frac{100}{(90+100+40)} = \frac{100}{230} = 0,43 \text{ bzw. } 43 \%$$

$$\text{Aussehen: } \frac{40}{(90+100+40)} = \frac{40}{230} = 0,18 \text{ bzw. } 18 \%$$

Swing weist gegenüber SMART den Vorteil auf, dass es die Bandbreite der Ausprägungen explizit einbezieht.

Die **SIMOS**-Methode beruht darauf, dass sämtliche Kriterien zunächst auf Karten geschrieben und anschließend gemäß ihrer Wichtigkeit in eine Rangfolge gebracht werden. Hierbei ist es auch möglich, Karten parallel anzuordnen und somit eine identische Wichtigkeit auszudrücken sowie mittels weißer Karten größere Abstände zwischen den Kriterien zu visualisieren. Die exakte Gewichtung ergibt sich anschließend aus der Anzahl sämtlicher Kriterien und der entsprechenden Platzierung eines Kriteriums. Im Rahmen der Berechnung muss zudem das Verhältnis f angegeben werden, das den Abstand zwischen dem wichtigsten und unwichtigsten Kriterium darstellt. Es wird demnach so festgesetzt, dass es der empfundenen Differenz hinsichtlich der Bedeutung von wichtigsten zu unwichtigstem Kriterium entspricht. Bei geringeren f -Werten wirken sich die Unterschiede daher schwächer aus. Über die folgende Formel wird dann ein Punktwert ermittelt, wobei r_{min} den kleinsten und r_{max} den höchsten Rang darstellt:

$$\text{Punktwert} = r_{min} + (f - 1) * \frac{r - r_{min}}{r_{max} - r_{min}}$$

Anhand dieses Punktwertes wird wiederum, in Abhängigkeit von sämtlichen verteilten Punkten, das genaue Gewicht berechnet.

Vorteilhaft ist bei der SIMOS-Methode, dass sie einfach umzusetzen und leicht verständlich ist sowie dem Entscheidungsträger die Möglichkeit gibt, seine Präferenzen frei auszudrücken. Bei Entscheidungen in Gruppen kann es jedoch vorkommen, dass aufgrund von unterschiedlichen Präferenzen eine gemeinsame Rangfolge nur schwer festgelegt werden kann und der Prozess stockt.

In Abbildung 6 sind zwei potenzielle Ergebnisse aufgeführt, die auf dem vorherigen Beispiel beruhen. In Fall a) wird der Anschaffungspreis als wichtigstes Kriterium definiert, gefolgt von dem Verbrauch und schließlich dem Aussehen. Um zu verdeutlichen, dass der Verbrauch deutlich wichtiger ist als das Aussehen, wurde zusätzlich eine weiße Karte als Platzhalter eingefügt. Als Punktwerte ergeben sich bei einem angesetzten f-Wert von 4 hieraus:

$$\text{Punktwert Anschaffungspreis} = 1 + (4 - 1) * \frac{4-1}{4-1} = 4$$

$$\text{Punktwert Verbrauch} = 1 + (4 - 1) * \frac{3-1}{4-1} = 3$$

$$\text{Punktwert Aussehen} = 1 + (4 - 1) * \frac{1-1}{4-1} = 1$$

Auf Basis dieser Punktwerte ergeben sich dann die Gewichte:

$$\text{Anschaffungspreis: } \frac{4}{(4+3+1)} = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ bzw. } 50 \%$$

$$\text{Verbrauch: } \frac{3}{(4+3+1)} = \frac{3}{8} = 0,375 \text{ bzw. } 37,5 \%$$

$$\text{Aussehen: } \frac{1}{(4+3+1)} = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ bzw. } 12,5 \%$$

In Fall b) wurde eine ähnliche Reihenfolge erzielt. Jedoch ist es hier der Fall, dass die beiden Kriterien Verbrauch und Aussehen als gleichbedeutend angesehen und daher auf einer Ebene angesetzt werden. Dies führt bei einem f-Wert von 4 zu folgender Gewichtung zu der folgenden Punktwerten:

$$\text{Punktwert Anschaffungspreis} = 1 + (4 - 1) * \frac{2-1}{2-1} = 4$$

$$\text{Punktwert Verbrauch} = 1 + (4 - 1) * \frac{1-1}{2-1} = 1$$

$$\text{Punktwert Aussehen} = 1 + (4 - 1) * \frac{1-1}{2-1} = 1$$

Auf Basis dieser Punktwerte ergeben sich dann für diesen Fall die Gewichte:

$$\text{Anschaffungspreis: } \frac{4}{(4+1+1)} = \frac{4}{6} = 0,66 \text{ bzw. } 66,6 \%$$

$$\text{Verbrauch: } \frac{1}{(4+1+1)} = \frac{1}{6} = 0,166 \text{ bzw. } 16,6 \%$$

$$\text{Aussehen: } \frac{1}{(4+1+1)} = \frac{1}{6} = 0,166 \text{ bzw. } 16,6 \%$$

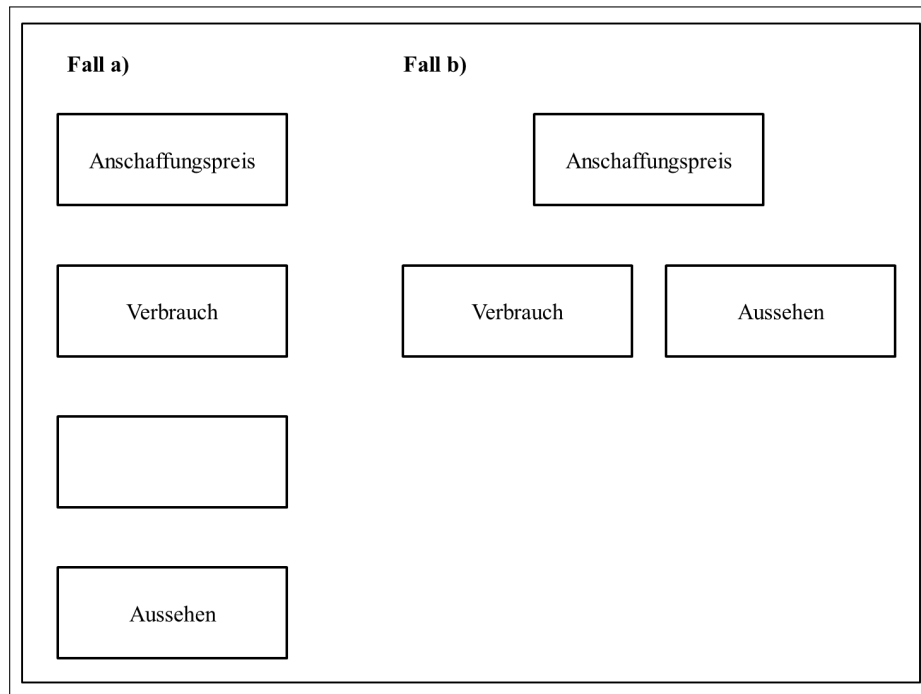


Abbildung 6: Zwei beispielhafte Ergebnisse für die Gewichtungsmethode SI-MOS

Neben den vorgestellten subjektiven Methoden besteht auch die Möglichkeit, die Gewichtung über mathematische Verfahren zu ermitteln. Eine dieser Methoden ist die **Entropie**-Methode. Hierbei wird einem Kriterium das Gewicht relativ in Abhängigkeit der Bandbreite seiner Ausprägungen zugeordnet. Neben den genannten Methoden existieren einige an weiteren Methoden, die alle ihre Vor- und Nachteile haben und mehr oder weniger mit der Anwendung einer bestimmten MCDA-Methode verbunden sind. In der Praxis besteht die Möglichkeit, den Entscheidungsträgern die einzelnen Gewichtungsmethoden vorzustellen und anschließend zusammen eine passende auszuwählen. Weiterhin kann auch der Analyst eine Methode vorschlagen. Dies steigert die Akzeptanz für das Vorgehen und die gewählte Methode. Am Ende des Gewichtungsprozesses sollte die Gewichte den Entscheidungsträger nochmals in einer Übersicht präsentiert werden, um sicherzustellen, dass die gesamte Gruppe mit der Bewertung einverstanden ist. Sollten weiterhin starke Differenzen zwischen den Teilnehmern bestehen, so können verschiedene Sets an Gewichtungen verwendet werden und somit letztendlich mehrere Ergebnisse berechnet werden. Diese gilt es dann abschließend hinsichtlich eventueller Unterschiede in der Rangfolge zu bewerten. Vielleicht ergibt sich jedoch auch hierbei der Fall, dass trotz der unterschiedlichen Gewichtungen gleiche Rangfolgen erzielt werden. Aufgrund der hohen Subjektivität der Gewichte und deren großem Einfluss auf das Ergebnis ist es zudem sinnvoll, eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Stabilität der erzielten Lösung sowie des Einflusses der einzelnen Gewichtungen vorzunehmen. Aufgrund der großen Bedeutung von Sensitivitätsanalysen im Zuge der Anwendung einer MCDA-Methode wird auf diese explizit in Abschnitt 3.1.9 eingegangen.

Kriterium	Gewichtung in %
Umweltfreundlichkeit	20
Sicherheit	25
Anschaffungspreis	10
Unterhaltskosten	5
Spritverbrauch	5
Leistung	7,5
Kofferraumvolumen	7,5
Aussehen Karosserie	10
Aussehen Innenraum	10
Summe	100

Tabelle 7: Beispiel Autokauf: Gewichtungen

Beispiel Autokauf: Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung

Nachdem die Entscheidungsmatrix aufgestellt wurde, möchte die Familie nun die einzelnen Kriterien gewichten. Die Tochter schlägt vor, vereinfachend allen Kriterien das gleiche Gewicht zuzuordnen. Die Eltern sind damit nicht einverstanden und argumentieren, dass man die Sicherheit nicht mit dem Aussehen der Karosserie gleichsetzen könne. Die Mutter hat eine Idee und lädt für den Gewichtungsprozess einen Kollegen abends zum Essen ein, der schon Erfahrung mit MCDA-Methoden hat. Dieser soll die Gewichte ermitteln und als Moderator zwischen den Familienmitgliedern wirken. Die Mutter ruft ihren Kollegen an und dieser willigt gerne ein.

Nach dem verabredeten Abendessen schlägt der Kollege zunächst vor, nicht einfach die Kriterien nach ihrer Wichtigkeit zu ordnen, sondern strukturiert vorzugehen und die SWING-Methode anzuwenden. Zudem schlägt er vor, bei der Gewichtung hierarchisch vorzugehen nach einem sogenannten Top-down-Ansatz, da man damit bisher gute Erfahrungen gemacht habe. Nachdem der Kollege die SWING-Methode umfassend erklärt hat, stimmt die Familie schnell zu, dass dieser Ansatz sinnvoll erscheint. Im Rahmen der Durchführung der Gewichtungsmethode wird rasch deutlich, dass die Moderationsfähigkeiten des Kollegen gefragt sind, da es bezüglich der Gewichtung der Kriterien „Leistung“ und „Aussehen“ eindeutige Differenzen zwischen den Eltern und den Kindern gibt. Da die Kinder großen Wert auf diese beiden Kriterien legen einigt man sich schließlich jedoch auf einen Kompromiss, innerhalb dessen die Gewichtung der Kriterien „Leistung“ und „Aussehen“ etwas erhöht wird und dafür die Bedeutung der Kosten etwas reduziert wird, womit die Eltern am ehesten leben können. Die Familie stimmt überein, dass sich in der erzielten Bewertung nun alle wiederfinden. Es ergeben sich somit die in Tabelle 7 aufgeführten Gewichtungen.

Kriterium	Gewichtung in %
CO ₂ -Ausstoß	15
Kulturartenzahl	15
Arbeitsplätze	20
Wärmepreis	25
Image	15
Landschaftsästhetik	10
Summe	100

Tabelle 8: Beispiel Bioenergie: Gewichtungen

Beispiel Bioenergie: Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung

Mit der Erhebung der Kriterienausprägungen liegt nun eine vollständige Entscheidungsmatrix vor. Der Analyst weist nun darauf hin, dass als nächster Schritt die Gewichtung der Kriterien ansteht. Hierüber würde es ermöglicht, die individuellen Präferenzen der Beteiligten einfließen zu lassen. Zu Beginn muss jedoch beraten werden, zur Ermittlung der Gewichte vorgegangen werden soll und welche Methode verwendet wird. Der Analyst stellt daher zunächst ein paar verschiedene Gewichtungsmethoden vor. Nach einer kurzen Diskussion darüber, welche dieser Methoden am geeignetsten erscheint, wird sich für SMART entschieden, da deren Funktionsweise von allen Teilnehmern gut verstanden wird. Weiterhin wird beschlossen, dass in einem ersten Schritt jeder Teilnehmer für sich selbst gewichten soll. Anschließend soll jeweils das gewichtete Mittel sämtlicher Teilnehmer als Kriteriengewichtung verwendet werden, wobei alle das gleiche Mitspracherecht haben.

Zur Vereinfachung der Erhebung schlägt der Analyst vor, bei der Ermittlung der Gewichte die Hierarchie zu nutzen. So sollen zunächst die drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales gewichtet werden, um anschließend wiederum die dazugehörigen Kriterien zu gewichten. Das globale Gewicht für die Kriterien wird dann im Sinne des Top-Down-Ansatzes ermittelt.

Die Teilnehmer bekommen dann genug Zeit, um sich Gedanken über ihre Gewichte zu machen. Der Moderator weist dabei darauf hin, dass die Teilnehmer hierfür auch gerne sich miteinander austauschen können. Schließlich werden nach einiger Zeit die in Tabelle 8 aufgeführten Gewichtungen erzielt, welche einen Kompromiss für die Präferenzen sämtlicher Teilnehmer darstellen.

3.1.8 Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge

Nach den vorangehenden Schritten wird nun die konkrete MCDA-Methode angewendet, mittels derer die zuvor gesammelten Informationen zu einem ersten Ergebnis aggregiert werden können. Das Vorgehen zur Aggregation hängt hierbei von der gewählten MCDA-Methode ab und es können hierbei auch bezüglich der Durchführung der vorangehenden Schritte Unterschiede in Abhängigkeit von der Methode auftreten.

Eine Aggregation bedeutet in diesem Falle, dass anhand der ermittelten Infor-

mationen (Ziele, Alternativen, Kriterien, Präferenzen und Gewichtungen) eine Rangfolge für die zu bewertenden Alternativen berechnet werden kann. Die Aggregation liefert somit einen zusammenfassenden, ganzheitlichen Wert der Zielerreichung der einzelnen Alternativen bezüglich sämtlicher Kriterien dar. Zur Aggregation stehen verschiedene MADM-Methoden zur Verfügung, die in klassische und Outranking-Verfahren unterteilt werden. Bei den klassischen Verfahren wird eine eindeutige Rangfolge erzielt, wohingegen bei Outranking-Verfahren auch partielle Ordnungen dargestellt werden können, die Unvergleichbarkeit enthalten. Für eine Beschreibung des allgemeinen Ablaufs von MADM-Verfahren sei auf Kapitel 2 dieses Leitfadens verwiesen.

Eine detaillierte Beschreibung des Outranking-Verfahrens PROMETHEE als eine ausgewählte MCDA-Methode zur Aggregation findet sich in Kapitel 4.

Um das Verständnis für das Ergebnis zu erhöhen gilt es zudem, die Resultate angemessen zu visualisieren. Dies bedeutet, dass die Darstellung möglichst verständlich und eindeutig ist, damit kein oder wenig Spielraum für falsche Interpretationen besteht. Zur Visualisierung stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung, wie einfache Rangfolgen oder Balkendiagramme, aber auch komplexere Gebilde wie z.B. die GAIA-Ebene in PROMETHEE. Diese deckt z.B. zwar viele Informationen auf, ist jedoch für ungeübte Anwender schwieriger zu erschließen. Ein Analyst kann aber bei der Erschließung der Informationen behilflich sein und die Darstellung sowie die darin enthaltenen Informationen erläutern.

In der Praxis wird für die Anwendung von MADM-Methoden entsprechende Software eingesetzt, sodass die Berechnung im Allgemeinen computergestützt erfolgt.

Jedoch sollte beachtet werden, dass die letztendlich erhaltene Rangfolge nicht das uneingeschränkte Endergebnis darstellt. Das Ergebnis sollte eher mittels einer geeigneten Sensitivitätsanalyse auf seine Stabilität hinsichtlich der getroffenen Annahmen und der subjektiven Einschätzungen geprüft werden. Auf die Grundlagen und die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse wird in Abschnitt 3.1.9 näher eingegangen.

Bei Anwendung von Methoden, die auf paarweisen Vergleichen beruhen, kann zudem die nachträgliche Streichung einer dominierten oder schlechten Alternative zu sogenannten „Rank Reversals“ führen. Dies bedeutet, dass sich die Rangreihung zwischen anderen Alternativen ändert, die jedoch bisher besser abschneiden und eigentlich von der Ausschließung unberührt bleiben müssten (Dieses Phänomen tritt auch bei der Anwendung des sogenannten Borda-Kriteriums auf). Aus diesem Grund sollte bei knappen Ergebnissen getestet werden, ob die Ausschließung einer Alternative zu einer veränderten Rangfolge führt.

Um eine korrekte Vorgehensweise zu gewährleisten, muss bei einigen Methoden zur Aggregation (linear additive Methoden wie z.B. MAUT) eine sogenannte „Präferenzunabhängigkeit“ gewährleistet sein. Dies bedeutet, dass die Präferenz der Alternativen hinsichtlich eines Kriteriums unabhängig von der ausgedrückten Präferenz bezüglich der sämtlicher weiterer Kriterien ist. Dies bedeutet jedoch nicht, dass kein Zusammenhang zwischen zwei Kriterien bestehen darf. So können z.B. bei der Wahl eines Autos die Leistung und der Spritverbrauch zwei Kriterien darstellen, wobei leistungsstärkere Autos in der Re-

gel auch einen höheren Spritverbrauch aufweisen. Ein potenzieller Autokäufer wird hierbei eine höhere Leistung, aber auch einen geringeren Spritverbrauch bevorzugen. Die beiden Kriterien sind jedoch präferenzunabhängig, da der Entscheidungsträger seine Präferenz z.B. hinsichtlich der Leistung äußern kann, ohne den verbundenen Spritverbrauch zu kennen. Sollte der Entscheidungsträger jedoch bezüglich eines Kriteriums seine Präferenzen nicht wiedergeben können, ohne Informationen bezüglich eines weiteren Kriteriums zu besitzen, so liegt „Präferenzabhängigkeit“ vor. In diesem Fall müsste die Kriterienhierarchie überarbeitet werden.

Beispiel Autokauf: Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge

Nachdem die Gewichtung aufgenommen wurde und in die Software eingetragen wurde, erwähnt der Kollege, dass nun eigentlich sämtliche Informationen vorhanden sind und die Familie nur noch einen Knopfdruck von ihrem Ergebnis entfernt ist. Da ihn auch das Ergebnis interessiert schlägt er vor, sich das Resultat sofort anzuschauen. Gespannt erwartet die Familie das Ergebnis, das angesichts der erhobenen Daten und der getroffenen Gewichtungen in Abbildung 7 aufgeführt ist.

Der Kombi vom europäischen Hersteller schneidet demzufolge am besten ab, gefolgt von der Limousine, dem Hybridfahrzeug und dem Nachfolgemodell des japanischen Herstellers. Der Vater erwähnt sogleich, dass man ja zum Glück den Kombi des europäischen Herstellers als weitere Alternative noch aufgenommen habe, denn diese sei ja deutlich besser als die anderen. Der Kollege wendet jedoch ein, dass man erstmal anhand einer Sensitivitätsanalyse überprüfen sollte, wie stabil dieses Ergebnis ist. Es kann nämlich sein, dass bei anderer Gewichten sich die Rangfolge ändert. Dies zu untersuchen sei besonders wichtig, da sie mit mehreren entschieden hätten und es auch zu Kompromissen gekommen sei. Die Kinder unterstützen dies, da ihr Favorit die Limousine ja nicht wie von ihnen erhofft als bestes abgeschnitten hat.

Da die Methode PROMETHEE auf paarweisen Vergleichen beruht, soll geprüft werden, ob die Streichung des japanischen Kombis eine Auswirkung auf die Rangfolge hat. Nach einer Anpassung in der Software kommt das in Abbildung 8 aufgeführte Ergebnis heraus. Demzufolge bleibt die Rangfolge bestehen.

Beispiel Bioenergie: Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge

Der Analyst trägt nun die Gewichtungsfaktoren in die Software ein und kann innerhalb weniger Augenblicke das erste Ergebnis vorlegen, das in Abbildung 9 abgebildet wird. Er erklärt die Aussage der einzelnen Balken und wie diese interpretiert werden können. Zudem geht er explizit auf die Aus- und Eingangsflüsse ein, in denen eine besondere Eigenschaft der Methode PROMETHEE liegt.

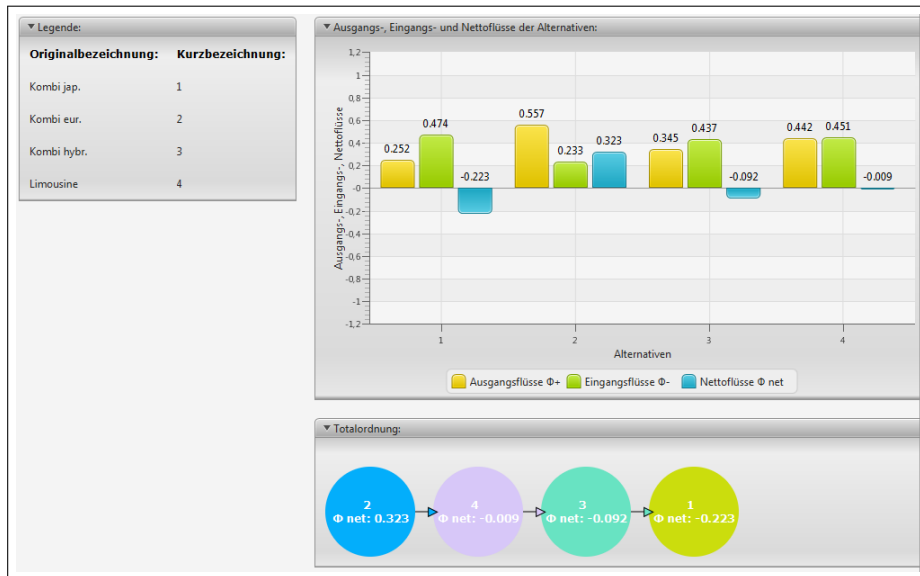


Abbildung 7: Beispiel Autokauf: Ergebnis in Form der Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse

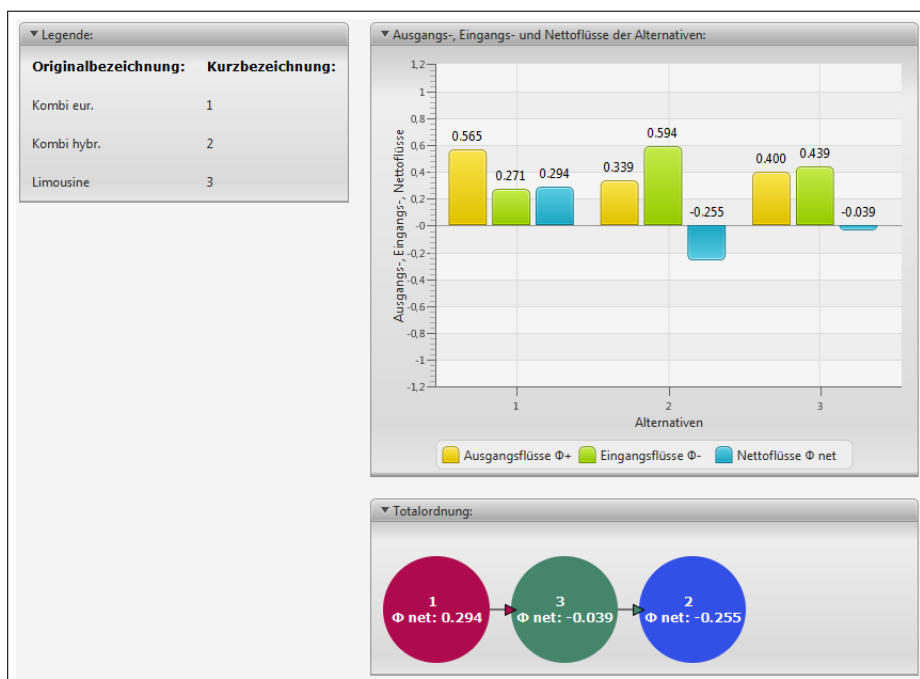


Abbildung 8: Beispiel Autokauf: Ergebnis in Form der Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse ohne den japanischen Kombi

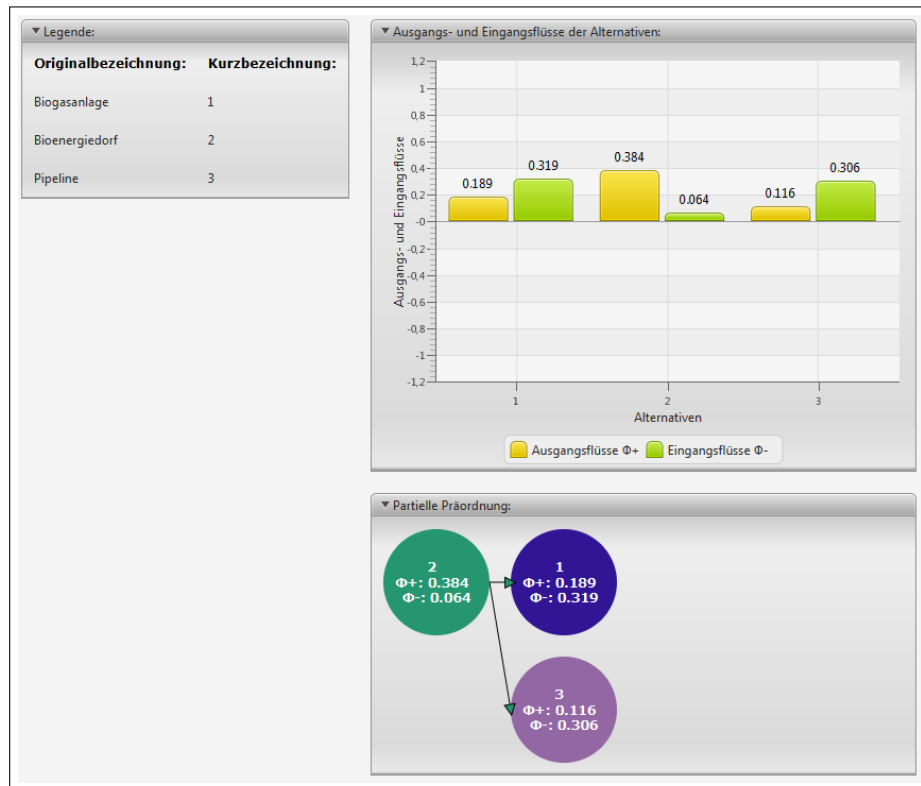


Abbildung 9: Beispiel Bioenergie: Ergebnis in Form der Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse

Das Bioenergiedorf schneidet demnach am besten ab, gefolgt von der Biogasanlage und der Pipeline, die miteinander unvergleichbar sind. Daher schlägt der Analyst vor, sich zusätzlich die Totalordnung nach PROMETHEE II anzuschauen, um zusätzlich eine eindeutige Rangfolge zu bekommen. Nach wenigen Sekunden liefert die eingesetzte Software die Totalordnung, die in Abbildung 10 aufgeführt ist.

Der Analyse weist jedoch darauf hin, dass man erstmal anhand einer Sensitivitätsanalyse die Stabilität des Ergebnisses überprüfen sollte. Da sie zudem mit mehreren entschieden hätten und das Ergebnis auf einem Kompromiss beruht könnte über eine Sensitivitätsanalyse zudem aufgezeigt werden, wie das Ergebnis bei Ansetzung anderer Werte aussehen würde.

3.1.9 Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse veranschaulicht den Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis und den Eingangsparametern. So soll aufgezeigt werden, in welchem Umfang getroffene Annahmen und die Präferenzen des Entscheiders einen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Bei den getesteten Größen sollten vor allem subjektive und schwierig quantifizierbare Größen überprüft werden. Hierbei handelt es sich stets um die Kriteriengewichtung als Ausdruck der persönlichen Präferenzen des Entschei-

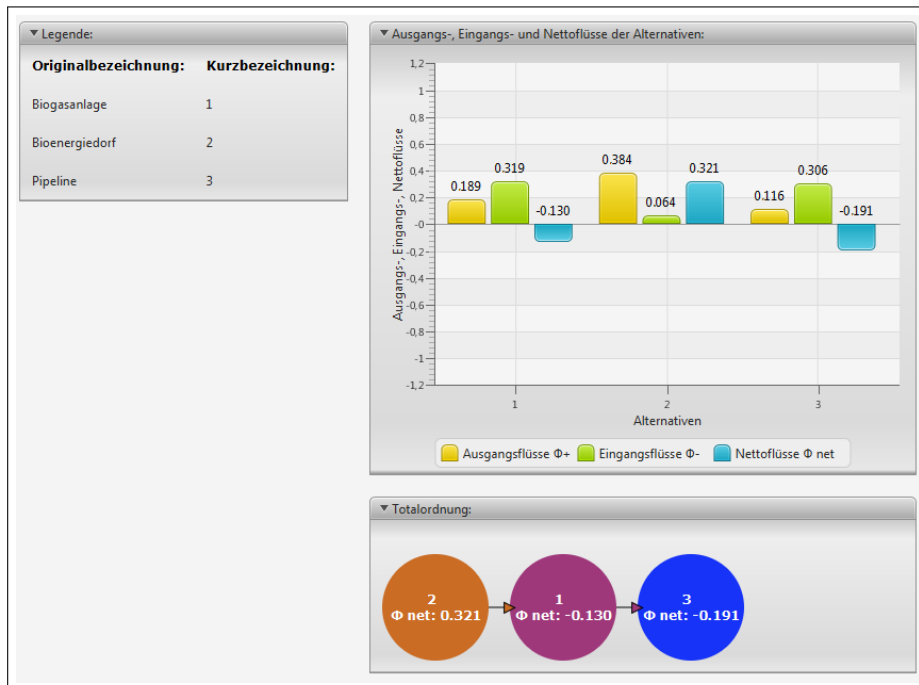


Abbildung 10: Beispiel Bioenergie: Ergebnis in Form der Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse

dungsträgers. Weiterhin ist eine Überprüfung von qualitativen Kriterien, für die Schulnoten oder Punkte verteilt wurden, sinnvoll.

So wird aufgezeigt, inwieweit sich das Ergebnis in Form der Rangfolge verändern würde, wenn der Entscheidungsträger ein bestimmtes Gewicht variieren würde. Da die Gewichte in Summe auf den Wert 1 bzw 100 % normiert sind, muss somit auch entschieden werden, inwieweit die anderen Gewichte angepasst werden sollen. Ein naheliegender Ansatz ist es, die anderen Gewichte so anzupassen, dass sie stets in dem gleichen Verhältnis zueinander stehen wie bei der ursprünglichen Gewichtung oder die anderen Gewichtungen prozentual zu senken.

Anhand der Sensitivitätsanalyse können viele Informationen generiert werden und dem Entscheider zudem die Auswirkungen der getroffenen Annahmen und geäußerten Präferenzen aufgezeigt werden. Dies wiederum ermöglicht dem Entscheider, das Ergebnis besser einzuordnen und dessen Stabilität bewerten zu können. So lässt sich feststellen, ob selbst bei stärkeren Veränderungen der Annahmen und subjektiven Einschätzungen stets die gleichen Alternativen bevorzugt wird. Führen jedoch bereits kleine Abweichungen von den gewählten Kriterien und getroffenen Annahmen zu einer Veränderung sollte die erzielte Rangfolge kritisch hinterfragt werden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund von Interesse, dass die Gewichtung subjektiv erfolgt und möglicherweise einen Kompromiss innerhalb einer Gruppe darstellt.

Neben der Gewichtung können viele weitere Eingangsgrößen variiert werden, je nachdem, in welchem Umfang eine Sensitivitätsanalyse der Präferenzfunktion erwünscht ist. So lassen sich bei manchen Methoden zusätzlich die gewählten Grenzwerte prüfen oder aber auch die Verwendung anderer Funktionen zur

Ermittlung der Präferenzen. Je nach gewählter Methode kann sich daher der Spielraum für eine sinnvolle Sensitivitätsanalyse vergrößern. Auch die Überprüfung von Annahmen hinsichtlich der Kriterienausprägungen ist sinnvoll, wobei diese in einem realistischen Rahmen variiert werden sollten.

Eine sinnvoll aufbereitete und gut interpretierbare Analyse kann hierbei über die Schaffung von Transparenz die Akzeptanz für die Ergebnis und das Anwenden einer MCDA-Methode zur Entscheidungsfindung verbessern. Somit kann die Sensitivitätsanalyse auch dazu dienen, mit Unsicherheiten bezüglich der eigenen Gewichtung oder der Ausgestaltung von Alternativen und Kriterienausprägungen umzugehen, wie sie in 3.2 beschrieben werden.

Neben der Überprüfung der Stabilität einer Lösung liefert eine Sensitivitätsanalyse zusätzlich Informationen dahingehend, welche Kriterien einen besonderen Einfluss auf die Lösung haben. Eventuell lassen sich hierdurch potenzielle Ansatzpunkte identifizieren, die für die bestmögliche Lösung des Entscheidungsproblems von besonderer Bedeutung sind.

Sensitivitätsanalysen stellen daher einen wichtigen Bestandteil von MCDA-Methoden dar und sollten stets im Anschluss an die Ermittlung des Ergebnisses durchgeführt werden. Die meisten Softwareanwendungen bieten hierzu eine gute Möglichkeit, da die Berechnung und das „spielen“ mit den Parametern durch die Computerunterstützung gut durchgeführt werden kann.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sollten zudem leicht verständlich visualisiert werden. Eine Möglichkeit hinsichtlich der Gewichtung stellen hierbei Insensitivitätsintervalle dar. Ein Insensitivitätsintervall gibt hierbei an, in welchem Rahmen die Gewichtung eines Kriteriums ausgehend von dem ursprünglich gewählten Wert verändert werden kann, ohne dass sich die ursprünglich erzielte Rangfolge ändern würde. Ein enges Intervall um die gewählte Gewichtung ist daher ein Zeichen dafür, dass die Lösung sich leicht verändern lässt. Mittels der graphischen Visualisierung wird zudem anhand der Steigung der Geraden für die einzelnen Alternativen verdeutlicht, welche Alternative durch das betrachtete Kriterium unterstützt wird und wie stark dieser Effekt ausgestaltet ist im Vergleich zu den restlichen Alternativen. Hierdurch können zudem besonders relevante Kriterien identifiziert werden.

Bei Entscheidungen mit verschiedenen Interessengruppen kann eine geeignete Sensitivitätsanalyse zudem dabei helfen, die verschiedenen Perspektiven und die damit verbundenen Auswirkungen zu visualisieren. Hierdurch können eventuelle Unstimmigkeiten ausgeräumt werden, falls das Ergebnis unabhängig von den verschiedenen Ansichten stabil ist.

Anhand der aufgeführten Eigenschaften und Vorteile wird deutlich, dass die Sensitivitätsanalyse ein wichtiger Bestandteil jeder Durchführung einer MCDA-Methode ist. Die konkrete Durchführung und der Umfang hängen hierbei von der gewählten Methode und dem Anspruch der Entscheidungsträger ab.

Auf Basis der erhaltenen Rangfolge in Verbindung mit den Informationen aus der Sensitivitätsanalyse wird das Entscheidungsproblem für sämtliche Entscheidungsträger ganzheitlich dargestellt. In dieser Betrachtung des gesamten Problems in allen entscheidungsrelevanten Aspekten sowie der Abbildung der subjektiven Präferenzen liegt der Nutzen der Entscheidungsunterstützung.

Auf Basis des besseren Verständnisses und der neuen Erkenntnisse sollten nun

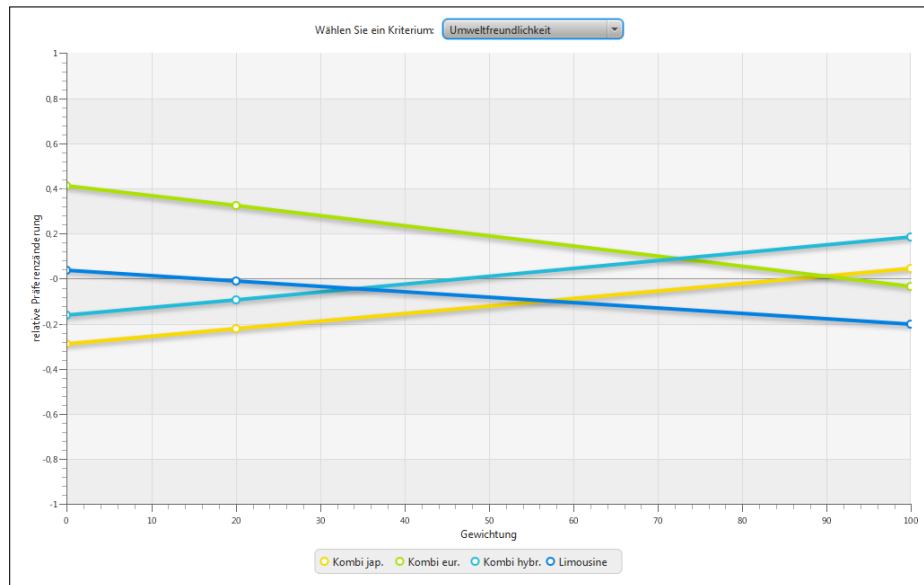


Abbildung 11: Beispiel Autokauf: Insensitivitätsintervall für das Kriterium Umweltfreundlichkeit

das Ergebnis und die damit verbundenen Auswirkungen diskutiert werden. Der MCDA-Prozess ist mit dem Erhalt des Ergebnisses noch nicht beendet, vielmehr sollte anschließend eine strukturierte Diskussion und Beurteilung der Ergebnisse erfolgen. Am Ende sollte eine Unterstützung hinsichtlich der Entscheidung stehen sowie ein Lernprozess bei den Entscheidern ermöglicht werden. Hierüber soll ein besseres Verständnis für das Entscheidungsproblem als Ganzes geschaffen werden, sodass am Ende eine fundiertere Entscheidung getroffen werden kann, die auf breite Akzeptanz stößt.

Beispiel Autokauf: Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse

Die Familie schaut sich nun zusammen mit dem Kollegen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse an. Diese wird auch durch die Software bereitgestellt, so dass eine schnelle und umfassende Auswertung möglich ist. Bei der Betrachtung der Insensitivitätsintervalle wird jedoch deutlich, dass es sich um eine stabile Lösung handelt und bei anderer Gewichtung in einem normalen Rahmen keine Änderung der besten Alternative auftritt. Die Kinder akzeptieren, dass der Kombi vom europäischen Hersteller wohl eine gute Wahl ist, da sie ja auch bei der Aufstellung der Kriterien, der Präferenzfunktionen und der Gewichtung mitwirken durften und es somit auch ihr Ergebnis ist. In Abbildung 11 ist beispielhaft das Insensitivitätsintervall für das Kriterium Umweltfreundlichkeit aufgeführt. Hieraus wird ersichtlich, dass der europäische Kombi erst ab einer Gewichtung von mehr als 70 % schlechter abschneidet als das Hybridfahrzeug.

Beispiel Bioenergie: Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse

Nun wird über die verwendete Software eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Teilnehmer können hierbei für jedes Kriterium betrachten, wie sich das Ergebnis verändert, falls das betrachtete Kriterium stärker bzw. schwächer gewichtet werden würde. Die Sensitivitätsanalyse steigert nochmals die Akzeptanz, da die Teilnehmer erkennen, dass eine andere Gewichtung keine großen Auswirkungen hätte.

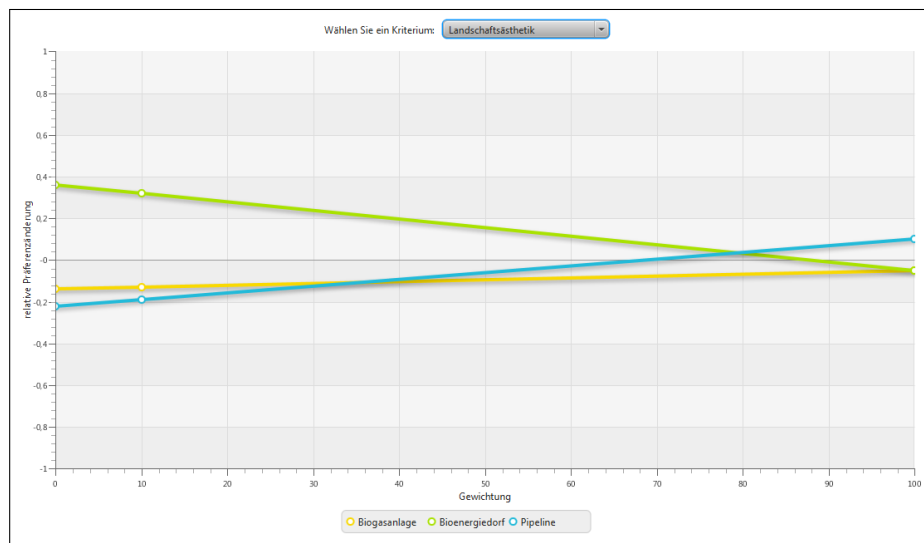


Abbildung 12: Beispiel Bioenergie: Insensitivitätsintervall für das Kriterium Landschaftsästhetik

3.2 Berücksichtigung von Ungewissheit, Risiko und Unschärfe

Ein bedeutender Aspekt, der oftmals mit einer hohen Unsicherheit verbunden ist, sind die eingehenden Daten. Die Unsicherheit kann hierbei darauf basieren, dass:

- zukünftigen Entwicklungen ungewiss sind
- die Validität vergangener Arbeiten und Modelle als Datengrundlage nur hinreichend bekannt ist
- empirisch erhobene Daten aufgrund eventueller subjektiver Empfindungen oder unvollständigem Wissen im Allgemeinen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind
- Messfehler nicht vollständig ausgeschlossen werden können.

Darüber hinaus weist auch die Erhebung der Präferenzen ein gewisses Maß an Unsicherheit auf, da nicht sichergestellt sein kann, dass der Entscheidungsträger das Vorgehen der Methode korrekt verstanden hat und in der Lage ist, seine Präferenzen exakt zu äußern. Daher liegt auch diesbezüglich die Aufgabe beim Analysten, das korrekte Verständnis zu überprüfen.

So kann die Ermittlung der Daten mit Unsicherheit in Form von **Risiko** und **Ungewissheit** verbunden sein oder eine **Unschärfe** vorliegen. Die einzelnen Begriffe sowie potenzielle Ansätze, die eine möglichst gute Anwendung ermöglichen sollen, werden im weiteren Verlauf erläutert.

Ungewissheit und Risiko Im besten Fall sind die Auswirkungen einer Alternative hinsichtlich eines Kriteriums mit Sicherheit bekannt. Kann jedoch nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob und welche Auswirkungen auftreten, z.B. aufgrund ungewisser zukünftiger Entwicklungen, hoher Komplexität oder einem einfachen Mangel an Informationen, liegt Unsicherheit vor.

Innerhalb der Unsicherheit wird weiterhin zwischen den beiden Fällen **Ungewissheit** und **Risiko** unterschieden. Diese grenzen sich dadurch voneinander ab, dass bei Risiko zumindest die Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt sind, wohingegen bei Ungewissheit keinerlei Informationen bezüglich des Eintretens vorliegen. Ein gutes Beispiel zur Verdeutlichung stellt eine Tombola dar: Ein Behälter ist mit zwanzig Kugeln gefüllt, die entweder rot (Gewinn) oder schwarz (Niete) sind. Wird im vornherein gesagt, dass jeweils 10 Kugeln rot und 10 Kugeln schwarz sind, so liegt Risiko vor. Wir wissen um die Wahrscheinlichkeit, mit der wir gewinnen können. Sie liegt in diesem Falle bei 50 %. Ist die Anzahl roter und schwarzer Kugeln jedoch gänzlich unbekannt, so besteht Ungewissheit.

Um Ungewissheit in der Anwendung von MCDA-Methoden zu berücksichtigen, ist ein verbreiteter Ansatz die **Szenarioanalyse**. Hierbei werden mögliche, zukünftige Entwicklungen bezüglich der Umweltbedingungen und deren potenzielle Auswirkungen abgebildet. Demzufolge werden verschiedene Szenarien erstellt, die bei entsprechenden Kriterien zu unterschiedlichen Kriterienausprägungen der Alternativen führen können, wobei nicht alle Kriterien sich voneinander unterscheiden müssen. Manche Werte können auch über verschiedene Szenarien identisch bleiben, sodass nur einzelne, ausgesuchte Kriterienausprägungen variiert werden. Dementsprechend wird für jedes Szenario eine eigene Rangfolge ermittelt, wobei die erzielten Rangfolgen abschließend miteinander verglichen werden. Für die Aufstellung der Szenarien können einzelne Entwicklungen und deren Auswirkungen getestet werden. Hierbei kann es auch sinnvoll sein, Extremszenarien in Form von Worst-Case- und Best-Case-Szenarien einzubeziehen. Über die Bildung von Szenarien kann einerseits die Stabilität der Lösung analysiert werden, jedoch ist es auch möglich, hierüber eine Alternative zu identifizieren, die über möglichst viele potenzielle zukünftige Entwicklungen (Szenarien) gut abschneidet und somit in Hinblick auf die Ungewissheit geringere Gefahren birgt. Bei der Szenarioanalyse ist es nicht zwingend nötig, den einzelnen Szenarien Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen.

Im Beispiel wäre es denkbar, dass bezüglich der Unterhaltskosten der Hybridwagen zukünftig stärker steuerlich begünstigt wird. Ob dieser Fall eintritt, ist

jedoch unbekannt. Daher wäre es möglich, die MCDA-Methode für zwei Szenarien anzuwenden, einmal ohne und einmal mit Steuervergünstigung.

Für die konkrete Ermittlung der Szenarien existiert kein allgemein gültiger Ansatz, jedoch stellt der Einsatz von verschiedenen Kreativitätstechniken (z.B. Brainstorming, morphologischer Kasten, Kartenabfragen,...) einen potenziellen Ansatz dar. Die Erschließung potentieller Szenarien wird vielmehr als praktischer Prozess gesehen, wobei mehrere Wege zum Ziel führen. Beispielsweise ist es möglich, zunächst die Extremszenarien festzulegen, um hierüber weitere Varianten abzuleiten. Zudem wird häufiger empfohlen, die wesentlichen Treiber der vergangenen Entwicklungen sowie potenzielle Trends zu identifizieren, um hierüber wahrscheinliche Szenarien zu erhalten. In der Literatur werden jedoch fünf Prinzipien bei der Erstellung von Szenarien aufgeführt:

1. Es müssen mindestens zwei Szenarien vorliegen, mehr als vier werden jedoch als nicht sinnvoll erachtet.
2. Jedes Szenario sollte plausibel im Sinne der vergangenen und derzeitigen Entwicklungen erscheinen.
3. Ein Szenario sollte in sich konsistent sein, d.h. keine Widersprüche aufweisen.
4. Die Szenarien müssen sich auf die Bedürfnisse des Entscheidungsträgers beziehen und dessen Entscheidung nützlich sein.
5. Die Szenarien sollen neue Perspektiven aufzeigen.

Eine Szenarioanalyse ermöglicht daher, die Szenarien und ihre Auswirkungen zu veranschaulichen und die Alternativen über mehrere potenzielle Entwicklungspfade zu vergleichen. Zudem erzeugt die Aufstellung der Szenarien zusätzliche Informationen. Dieser Lerneffekt wurde schon bei der Konzeption der Szenarioanalyse als ein wesentlicher Bestandteil gesehen.

Liegt allerdings Risiko vor und es können Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Umweltzustände einbezogen werden, so lässt sich auch dieses in Form von Entscheidungsbäumen im Rahmen einer Szenarioanalyse abbilden. Hierbei wird einfach für jedes Szenario eine Eintrittswahrscheinlichkeit angesetzt, anhand derer die Werte jeder Alternative über alle Szenarien aggregiert werden können. Die konkrete Berücksichtigung im Rahmen der Aggregation ist jedoch von der gewählten MCDA-Methode abhängig. Auch an dieser Stelle kann es sinnvoll sein, eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten durchzuführen.

Unschärfe Unschärfe unterscheidet sich von Ungewissheit dahingehend, dass nicht unsicher ist, ob eine Auswirkung eintritt, sondern in welchem Maße. Sie resultiert daraus, dass nicht mittels weiterer Datenerhebung eine höhere Genauigkeit erreicht werden kann. Im Rahmen der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung können verschiedenen Arten von Unschärfe vorliegen.

Eine intrinsische Unschärfe besteht, wenn bezüglich eines Kriteriums die Ausprägungen und deren Messung nicht klar voneinander abgegrenzt werden können. Die Grenzen können dann nur subjektiv festgelegt werden. Diese Problem besteht öfters bei qualitativen Kriterien, die mittels linguistischer Variablen bewertet werden. Ein Beispiel hierfür stellt das Image eines Automobilherstellers dar. Soll dieses auf verschiedenen Stufen bewertet werden (z.B.: positives Image, neutral, negatives Image), so müssen diese subjektiv festgelegt, wobei es schwer fällt, scharf zwischen den einzelnen Stufen abzugrenzen.

Zudem können unscharfe Relationen auftreten. Eine Relation gilt hierbei als unscharf, wenn diese nicht eindeutig zugeordnet werden kann. Lautet z.B. die Antwort der Entscheidungsträger auf die Frage der Gewichtung „ungefähr gleich wichtig“, so tritt die Unschärfe deutlich hervor, wobei diese Form der Unschärfe mit der schwachen Präferenz bei Outranking-Verfahren vergleichbar ist. In der Praxis kann diese Art der Unschärfe sowohl bei der Festlegung von qualitativen Kriterienausprägungen auftreten, als auch bei der Ermittlung von Gewichtungen.

Weiterhin kann informationelle Unschärfe vorliegen. Diese resultiert daraus, dass die benötigten Daten zur exakten Bestimmung nicht exakt messbar sind. So können z.B. die Messungen systematische oder schwer zu quantifizierende Messfehler aufweisen sowie im Rahmen der Messung stets starke Schwankungen auftreten. Ein systematischer Messfehler liegt z.B. vor, wenn bei einem Auto der Tachometer nicht korrekt kalibriert ist und die Geschwindigkeit falsch angezeigt wird. Schwer zu quantifizierende Messungen ist z.B. der CO₂-Ausstoß eines Autos, da dieser einerseits schwer zu erheben ist und auch von der Fahrweise abhängt. Ein Beispiel für auftretende Schwankungen ist das Startverhalten eines Autos, da dieses erwartungsgemäß von Start zu Start geringe Abweichungen aufweisen wird. Zudem kann die zu messende Größe eine informationelle Unschärfe aufweisen, indem sie sich im Zeitablauf dynamisch verändert und daher nicht exakt vorhergesagt werden kann.

Während Mengen normalerweise exakt voneinander abgegrenzt werden (1 = gehört dazu; 0 = gehört nicht dazu), besteht zur Einbeziehung von Unschärfe ein Ansatz darin, dass es Übergangsbereiche (Wert zwischen 0 und 1) gibt, die über eine Zugehörigkeit zu einer Menge entscheiden. Die Ausgestaltung dieser Übergangsbereiche und damit die Aussage, ob ein Wert zu einer bestimmten Menge gehört (z.B. Automobilhersteller X hat ein positives Image), wird hierbei über subjektive Empfindungen festgelegt und mittels einer Zugehörigkeitsfunktion abgebildet. Dieser Ansatz wird in der **Fuzzy Set Theory** verwendet und wurde auch schon in diverse MCDA-Methoden integriert, z.B. Fuzzy-PROMETHEE.

Am häufigsten werden mögliche Unschärfen und deren Auswirkungen über Sensitivitätsanalysen untersucht. Hierzu sollten die Kriterienausprägungen in einem der Unschärfe entsprechenden Intervall variiert und potenzielle Veränderungen der Rangfolge analysiert werden. Auf Basis dieser Information kann schließlich trotz Unschärfen eine fundierte Entscheidung getroffen werden.

Bei der praktischen Anwendung kann es zudem vorkommen, dass Unsicherheit nicht bei allen, sondern nur bezüglich weniger Kriterien besteht. Dann kann es sinnvoll sein, nicht eine vollständige Szenarioanalyse durchzuführen. Ein An-

satz besteht darin, z.B. für das unsichere Kriterium mittels der beiden potenziellen extremen Entwicklungen in Kombination mit dem als wahrscheinlichsten angesehenen Wert eine Wahrscheinlichkeitsfunktion zu bestimmen und deren Mittelwert anzusetzen. Sollte das unsichere Kriterium im Rahmen der Sensitivitätsanalyse dann als einflussreich identifiziert werden, kann immer noch im Nachhinein ein aufwändigeres Verfahren angewendet werden. Im Sinne einer praktikablen Anwendung kann es daher ratsam sein, zunächst vereinfachend vorzugehen.

4 Die Methode PROMETHEE

In diesem Kapitel wird die MCDA-Methode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation) vorgestellt. Die Methode PROMETHEE ist in die Klasse der MADM-Verfahren einzuordnen und zählt zu den Outranking-Verfahren. Sie wird angewendet, um die im Verlaufe der MCDA erhobenen Größen (Kriterien, Alternativen und deren Kriterienausprägungen, Präferenzen und Gewichte) zu einem Ergebnis in Form einer Rangfolge zusammenzufassen. Um die Aggregation gemäß PROMETHEE vornehmen zu können, müssen allerdings auch bei den einzelnen Schritten zur Erhebung der genannten Eingangsgrößen diverse Anpassungen vorgenommen werden.

In diesem Kapitel wird daher zunächst die Idee und Wirkungsweise von PROMETHEE erläutert und anschließend auf die Vorgehensweise sowie die verbundenen spezifischen Anforderungen eingegangen.

4.1 Eigenschaften und die Idee hinter PROMETHEE

Das Verfahren PROMETHEE wurde Anfang der 80'er von Brans entwickelt und stellt eines der Outranking-Verfahren dar, die aus der Kritik der klassischen MADM-Methoden entstanden sind. Die Methode erfreut sich besonders im europäischen Raum großer Beliebtheit, sodass bereits diverse Weiterentwicklungen existieren, wobei zwischen PROMETHEE I bis VI unterschieden wird. Die gängigen Anwendungen in der Praxis stellen jedoch PROMETHEE I und II dar sowie die Visualisierung mittels der sogenannten GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Assistance)-Ebene. Auf die Unterschiede zwischen diesen Varianten wird in Abschnitt 4.2 eingegangen.

Im Rahmen von PROMETHEE wird eine bekannte Anzahl an diskreten Alternativen analysiert. Die Analyse und Bewertung beruht hierbei auf Paarvergleichen, welche die Grundlage für die Ermittlung der Intensität der Präferenzen darstellen. Zu diesem Zweck werden über die Verwendung von sogenannten Präferenzfunktionen die Alternativen über die Differenzen verglichen, die sie hinsichtlich der einzelnen Kriterien und den damit verbundenen Ausprägungen aufweisen.

Im Gegensatz zu den klassischen Verfahren trifft PROMETHEE jedoch nicht die Annahme, dass der Entscheidungsträger sich seiner Präferenzen exakt bewusst ist und diese auch ausdrücken kann. Ein bedeutendes Merkmal von PROMETHEE ist daher, dass es auch möglich ist, schwache Präferenzen und Unvergleichbarkeiten auszudrücken. Der Ausdruck von schwachen Präferenzen wird hierbei über die Ausgestaltung der Präferenzfunktionen ermöglicht, wohingegen die Unvergleichbarkeit im Zuge der Bildung der Rangfolgen abgebildet wird.

Weiterhin unterscheidet sich PROMETHEE von den klassischen Verfahren dadurch, dass keine vollständige Kompensation zwischen den Kriterien erfolgt. Dies kann beispielsweise insbesondere bei Entscheidungen, die ökologische Herausforderungen betreffen, von Vorteil sein. Wie sich diese Merkmale exakt in dem Vorgehen wiederfinden, wird in Abschnitt 4.2 näher beschrieben.

Das generelle Ziel von PROMETHEE liegt hierbei in der Entscheidungsunterstützung. Daher soll nicht die Entscheidung mittels eines Rechenverfahrens automatisiert und somit dem Entscheider abgenommen werden, sondern es gilt, während jedes Schrittes des Entscheidungsprozesses weitere Informationen aufzudecken und dem Entscheider dabei zu helfen, eine fundierte Entscheidung zu treffen. Als Ergebnis soll die Identifikation einer Alternativen erzielt werden, die einen guten Kompromiss darstellt sowie eine Rangfolge erstellt werden, mittels derer auch Unvergleichbarkeiten abgebildet werden können. Durch die aktive Partizipation am gesamten Entscheidungsprozess sowie der Tatsache, dass letztendlich der Entscheider besser informiert eine Wahl treffen soll, kann eine Anwendung von PROMETHEE die Akzeptanz für das Ergebnis bei den Beteiligten deutlich erhöhen.

4.2 Die Anwendung von PROMETHEE und dessen spezifische Anforderungen

Im Folgenden wird die Durchführung von PROMETHEE vorgestellt. Die einzelnen Schritte sind hierbei in den Kontext der allgemeinen Durchführung einer MCDA, wie sie in Kapitel 3 beschrieben wurde, zu setzen. Startpunkt für die Anwendung von PROMETHEE ist eine vollständige Entscheidungsmatrix. Die Identifikation der Alternativen, die Ermittlung des Zielsystems, die Aufstellung der Kriterienhierarchie sowie die Bestimmung der Kriterienausprägungen sind daher schon abgeschlossen und müssen vorliegen. Das schematische Vorgehen von PROMETHEE zur Aggregation und Auswertung der Entscheidungsmatrix kann dann in sechs Schritten dargestellt werden, wobei die einzelnen Schritte in das schematische Vorgehen eingeordnet werden können, das bereits in Kapitel 3 zur Durchführung einer MCDA vorgestellt wurde:

1. Festlegung und Definition der Präferenzfunktionen (*„Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion“*)
2. Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung (*„Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung“*)
3. Bestimmung der Outranking-Relationen (*„Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge“*)
4. Berechnung der Aus- und Eingangsflüsse (*„Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge“*)
5. Aggregation und Auswertung nach PROMETHEE I (*„Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge“*)
6. Aggregation und Auswertung nach PROMETHEE II (*„Aggregation mittels der gewählten Methode und Erzielen einer Rangfolge“*)

4.2.1 Festlegung und Definition der Präferenzfunktionen

Für jedes Kriterium muss der Entscheider zunächst eine Präferenzfunktion festlegen, mittels derer seine Präferenzen abgebildet und dargestellt werden können. Die Ermittlung der Präferenz bezüglich einer Alternative funktioniert hierbei über die Paarvergleiche. Hierfür wird zunächst die Differenz zwischen zwei Alternativen und deren Ausprägungen hinsichtlich eines Kriteriums bestimmt. Im Rahmen der Präferenzfunktion wird dann vom Entscheidungsträger zum Ausdruck gebracht, inwieweit eine Differenz innerhalb der einzelnen Ausprägungen eines Kriteriums auch zu einer Präferenz führt. Der allgemeine Aufbau und die damit verbundenen Aussagen einer Präferenzfunktion ist in Abbildung 13 aufgeführt.

Die *Präferenz* P wird auf der Abszisse (y-Achse) abgebildet und weist einen

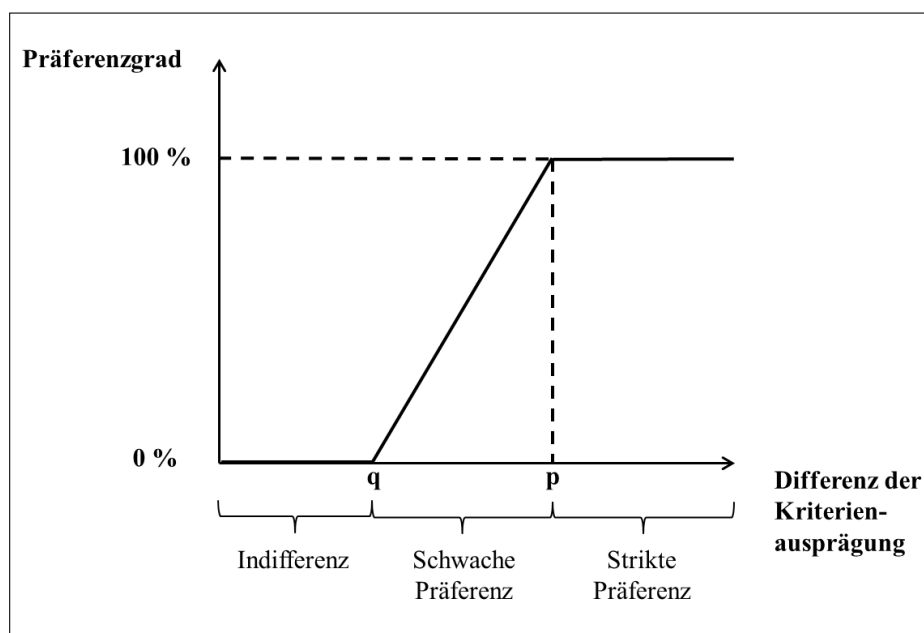


Abbildung 13: Allgemeiner Aufbau einer Präferenzfunktion

Wert zwischen 0 und 1 auf. Ein Wert von Null bedeutet „Indifferenz“, ein Wert von 1 „strikte Präferenz“ und über einen Wert zwischen 0 und 1 kann darüber hinaus die „schwache Präferenz“ ausgedrückt werden. Je näher die schwache Präferenz hierbei an dem Wert 1 liegt, desto stärker (aber nicht strikt) wird die Alternative präferiert. Eine steigende Präferenz geht hierbei mit steigender Differenz einher. Der Präferenzgrad P lässt sich folglich als ein Maß für das Ausmaß der Präferenz einer Alternative gegenüber einer Alternative hinsichtlich des betrachteten Kriteriums interpretieren. Auf der Ordinate (x-Achse) wird die Differenz abgetragen.

Weiterhin stehen drei verschiedene Arten von Schwellenwerten zur Verfügung, die auch auf der Ordinate angesetzt werden. Es handelt sich hierbei um den *Indifferenzwert* q (bis zu diesem Punkt liegt Indifferenz vor), den *Präferenzwert* p (ab diesem Punkt liegt strikte Präferenz vor) und den Wert σ (dieser ist nur für die Präferenzfunktion vom Typ VI relevant und stellt dort den Wendepunkt dar.). Es wird davon ausgegangen, dass die Entscheidungsträger

in der Lage sind, die Schwellenwerte zu formulieren. Tatsächlich liegt in der Ermittlung passender Schwellenwerte eine der Herausforderungen von PROMETHEE. Diesbezüglich existieren jedoch auch Ansätze, mittels derer Werte vorgeschlagen werden können. So kann z.B. der Präferenzwert p bestimmt werden, indem von der besten Ausprägung eines Kriteriums die schlechteste abgezogen wird. Weiterhin besteht ein Ansatz darin, den Indifferenzwert q anhand der Standardabweichung der Differenzen im Rahmen der einzelnen paarweisen Vergleiche zu bestimmen.

Zusätzlich ist es bei PROMETHEE möglich, den Bereich zwischen Indifferenz und strikter Präferenz spezifischer zu definieren, um hierüber schwache Präferenzen auszudrücken. Hierüber wird es ermöglicht, einen abgestuften Präferenzbegriff aufzunehmen und abzubilden, sodass gewisse „Grauzonen“ bezüglich des Empfindens des Entscheiders einbezogen werden können und von diesem nicht erwartet, wird strikt zwischen Präferenz und Indifferenz zu unterscheiden.

Zur Abbildung der Präferenzen werden sechs allgemeine Präferenzfunktionen vorgeschlagen, es ist jedoch auch möglich, eigene Präferenzfunktionen zu entwickeln und aufzunehmen, wenn der Entscheidungsträger dies wünscht. Die gängigen Präferenzfunktionen werden im Folgenden näher erläutert.

Gewöhnliches Kriterium Beim gewöhnlichen Kriterium (Abbildung 14) wird weder ein Indifferenz- noch ein Präferenzschwellenwert angesetzt. Sobald die Ausprägung einer Alternative gegenüber einer anderen Alternative nur geringfügig größer und das zugrundeliegende Kriterium zu maximieren ist, liegt bei diesem Paarvergleich eine strikte Präferenz vor. Bei Kriterien, die minimiert werden sollen, ist der Verlauf der Präferenzfunktion gespiegelt zum Verlauf bei Maximierung. Dies liegt daran, dass geringere Ausprägungen besser bewertet werden und somit negative Differenzen eine Vorteilhaftigkeit abbilden. Es besteht somit keine Möglichkeit der Ausdrückung einer schwachen Präferenz. Die Anwendung dieses Kriteriums bietet sich z.B. bei Ja/Nein-Entscheidungen an. Wird wieder das Beispiel eines Autokaufs zugrunde gelegt, so wäre bezüglich eines Kriteriums „Vorhandensein einer Anhängerkupplung“ die Anwendung dieses Kriteriums sinnvoll. Ein Wagen mit Anhängerkupplung würden dann den Wert 1 bekommen, ein Wagen ohne den Wert Null.

Quasi-Kriterium Das Quasi-Kriterium (Abbildung 15) stellt eine Erweiterung des gewöhnlichen Kriteriums dar. Es wird zusätzlich ein Indifferenzbereich eingeführt, sodass über die Ansetzung des Schwellenwertes q ein Puffer bezüglich des Unterschiedes zweier Alternativen berücksichtigt werden kann, der als nicht entscheidungsrelevant erachtet wird. Ist die Differenz jedoch größer als q , so liegt identisch zum gewöhnlichen Kriterium sofort strikte Präferenz vor.

Im Beispiel des Autokaufs könnte dies z.B. die Farbe sein. Wird diese mit Schulnoten bewertet, so könnte der Entscheider z.B. festlegen, dass jede Differenz bis zu einer Höhe von einer Notenstufe die Präferenz nicht beeinflusst.

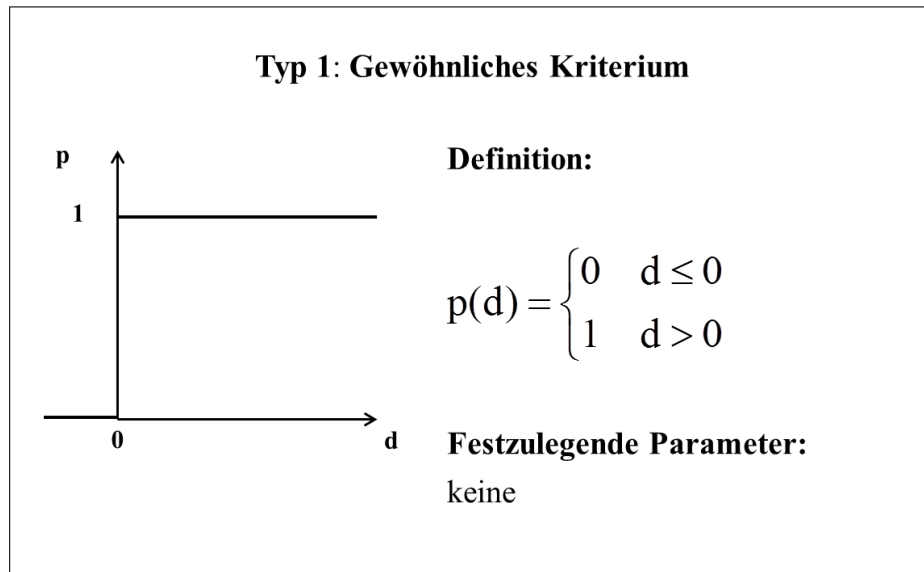


Abbildung 14: Präferenzfunktion Typ 1: Gewöhnliches Kriterium

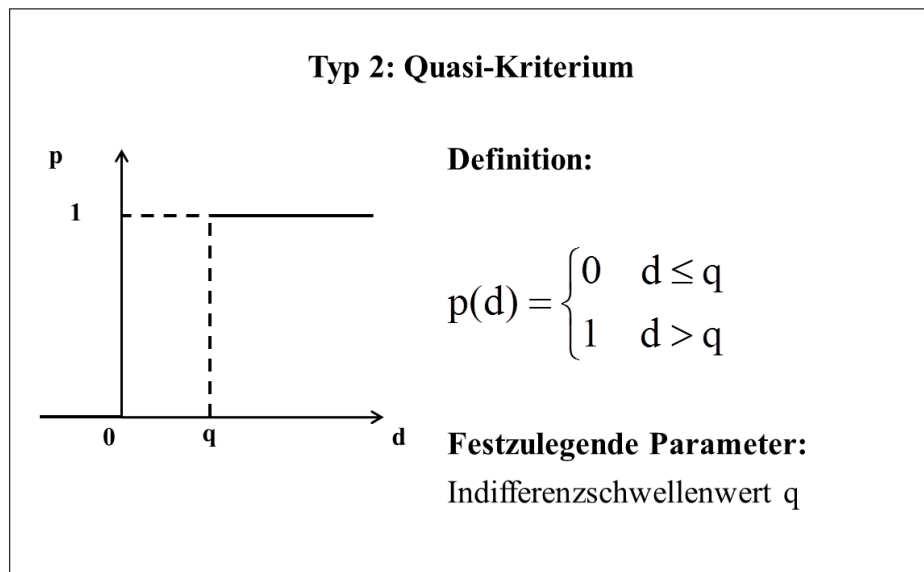


Abbildung 15: Präferenzfunktion Typ 2: Quasi-Kriterium

Kriterium mit linearer Präferenz Wird ein Kriterium mit linearer Präferenz (Abbildung 16) angesetzt, so wird ein Präferenzwert p festgelegt. Dieser wird so festgelegt, dass ab diesem Wert strikte Präferenz vorherrscht. Im Unterschied zum Quasi-Kriterium wird jedoch davon ausgegangen, dass bis zum Erreichen des Präferenzwerts p mit zunehmender Differenz auch die Präferenz linear steigt. Zur Ermittlung der linearen Präferenz wird die Differenz in Proportion zum Präferenzwert p gesetzt. Somit liegt im Bereich bis p schwache Präferenz vor. Der Entscheider muss somit nicht ab einem bestimmten Wert strikt zwischen Präferenz und Indifferenz unterscheiden, sondern kann einen

Übergangsbereich angeben.

Im Beispiel des Autokaufs wäre es denkbar, bei dem Kriterium „Volumen des Kofferraums“ dieses Kriterium anzusetzen. Dementsprechend würde bis zu einer bestimmten Differenz, z.B. 200 Litern, die Präferenz mit zunehmendem Fassungsvermögen linear steigen. Aber erst ab Werten die größer sind als 200 Liter würde auch strikte Präferenz vorliegen. Die Ansetzung eines solchen Kriteriums macht häufig bei kardinalen Messwerten Sinn, wo es dem Entscheidungsträger schwer fällt, strikt zwischen Präferenz und Indifferenz zu unterscheiden, aber mit zunehmender Differenz eine gewisse Präferenzsteigerung einhergeht.

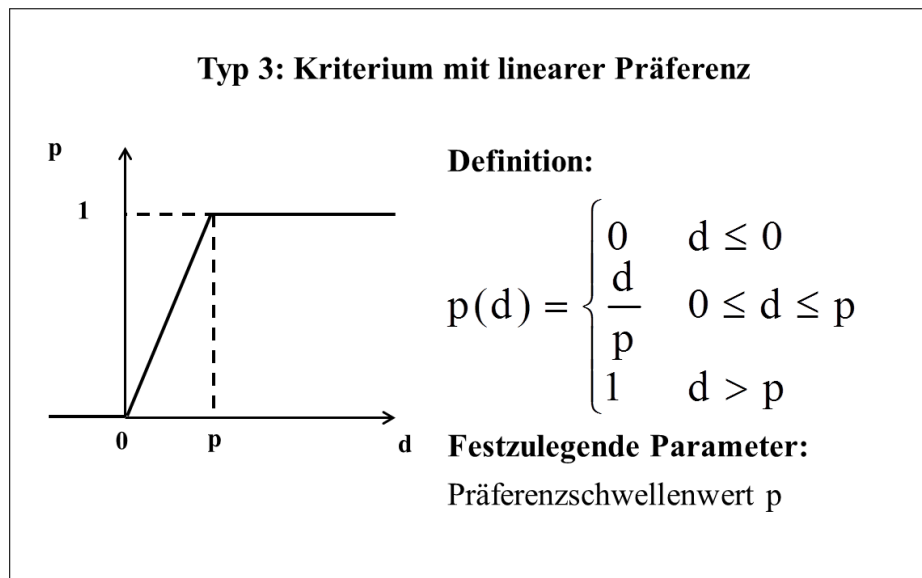


Abbildung 16: Präferenzfunktion Typ 3: Kriterium mit linearer Präferenz

Stufen-Kriterium Das Stufen-Kriterium (Abbildung 17) ermöglicht sowohl die Angabe eines Indifferenzwertes q als auch eines Präferenzwertes p . Gemäß dem vorherigen Vorgehen liegt hierbei bei Differenzen, die kleiner als q sind, Indifferenz vor und bei Differenzen, die größer als p sind, strikte Präferenz. Im Bereich zwischen q und p wird jedoch noch eine „Stufe“ eingebaut, die einen schwachen Präferenzwert aufweist. Der schwache Präferenzwert wird üblicherweise mit 0,5 angesetzt und ist im gesamten Bereich zwischen q und p gültig. Es ist jedoch auch möglich, einen anderen Wert zu wählen.

Das Stufen-Kriterium könnte z.B. beim Gebrauchtwagenkauf beim Kriterium „Leistung“ angewendet werden. Hierbei könnte beispielsweise bis zu einem Unterschied von 10 PS (Schwellenwert q gleich 10) Indifferenz vorliegen, ab größeren Differenzen eine schwache Präferenz in Höhe von 0,5 und ab Differenzen, die größer als 25 PS sind, eine strikte Präferenz (Schwellenwert p gleich 25). Dieses Kriterium kann angewendet werden, wenn es dem Entscheider wichtig ist, einen Wert für Indifferenz sowie schwache Präferenz aufzunehmen.

Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich Dieses Kriterium (Abbildung 18) entspricht dem Vorgehen des Stufen-Kriteriums, nur

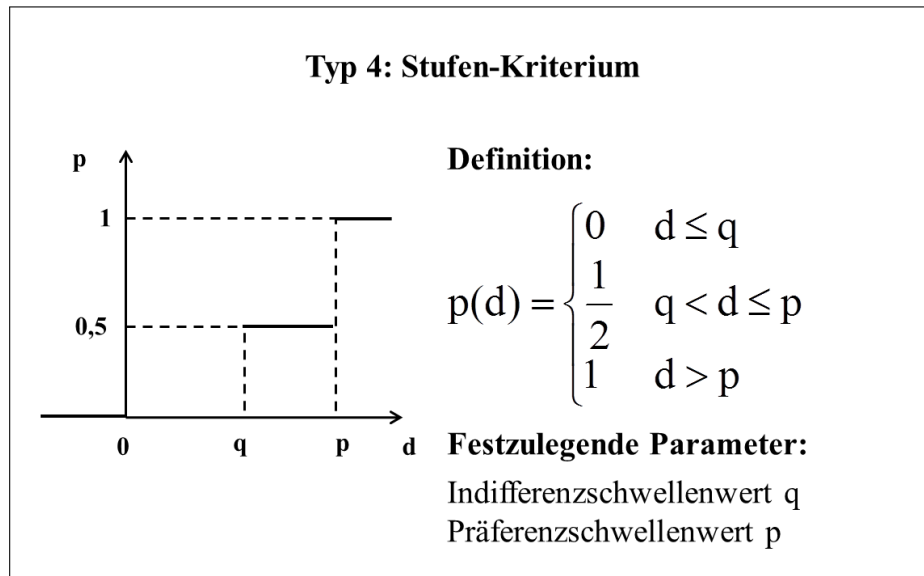


Abbildung 17: Präferenzfunktion Typ 4: Stufen-Kriterium

mit dem Unterschied, dass der Präferenzwert im Bereich zwischen q und p linear ansteigt, vergleichbar mit dem Kriterium mit linearer Präferenz. Die schwache Präferenz wird folglich nicht konstant auf einer „Stufe“ gehalten, sondern steigt im Bereich zwischen q und p linear an.

Ein Beispiel hierfür kann der Spritverbrauch der zu vergleichenden Gebrauchtwagen darstellen, der möglichst niedrig ausfallen soll. So kann beispielsweise bis zu einer Differenz von 0,5 Liter pro 100 km eine Indifferenz bestehen, wohingegen ab diesem Wert eine schwache Präferenz mit abnehmendem Verbrauch linear steigt. Die schwache Präferenz nimmt hierbei solange zu, bis der Präferenzwert p , z.B. 2 Liter auf 100 km, übertroffen wurde. Auch dieses Kriterium kann angewendet werden, wenn es dem Entscheider wichtig ist, einen Wert für Indifferenz sowie schwache Präferenz aufzunehmen.

Gauß'sches Kriterium Beim Gauß'sche Kriterium (Abbildung 19) muss der Wert σ festgelegt werden, der den Wendepunkt einer streng monoton wachsenden Präferenzfunktion festlegt. Grundlage für den Verlauf stellt die Gauß'sche Normalverteilung dar. Die Besonderheit dieser Präferenzfunktion liegen darin, dass sie nie den Wert 1 erreicht (d.h. es wird nie eine strikte Präferenz erreicht, unabhängig davon, wie groß die Differenz ausfällt) sowie dass sie relativ stabil im Vergleich mit den anderen Präferenzfunktionen hinsichtlich der Änderung des Schwellenwertes ist. So treten bei Änderungen von σ nur geringfügige Änderungen bezüglich der Präferenz auf. Ein Ansatz um einen Wert für σ zu bestimmen besteht darin, 50 % der Differenz zwischen der besten und der schlechtesten Kriterienausprägung anzusetzen.

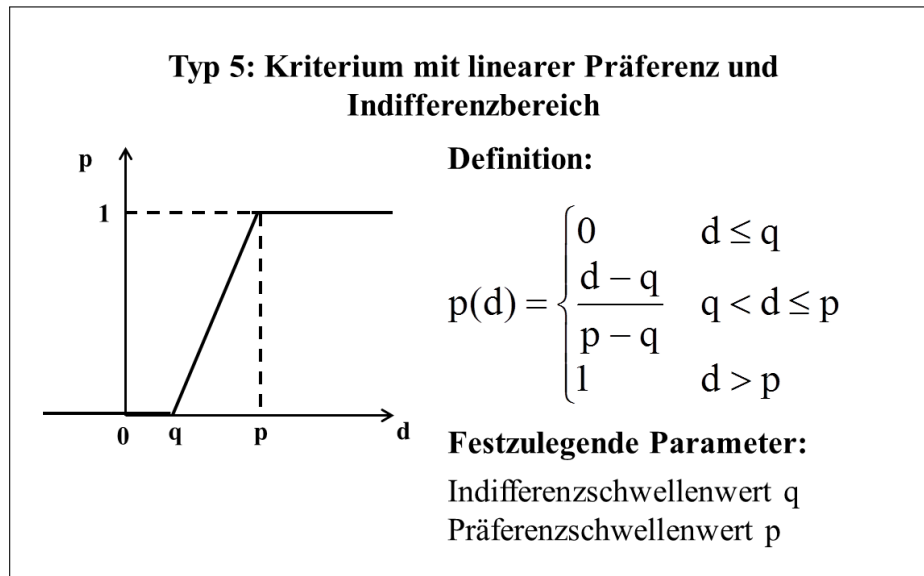


Abbildung 18: Präferenzfunktion Typ 5: Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich

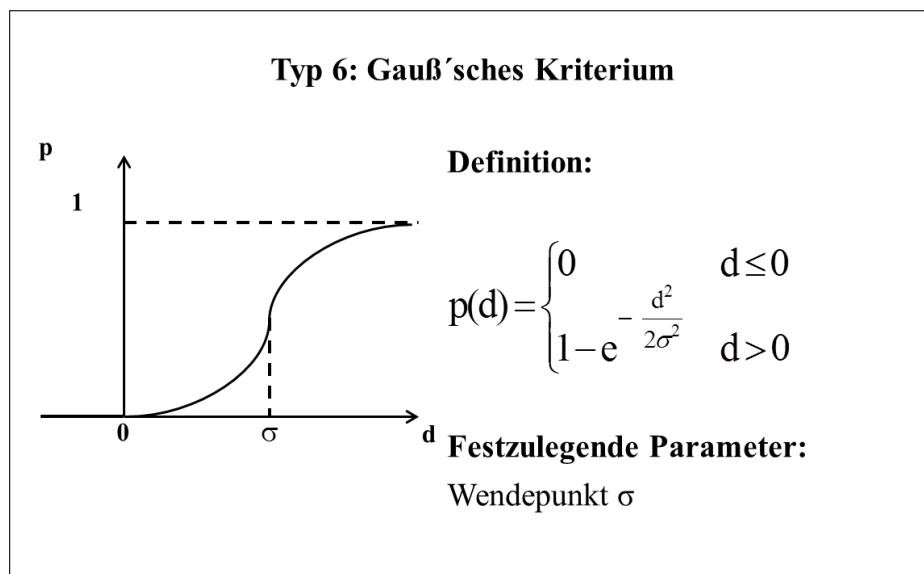


Abbildung 19: Präferenzfunktion Typ 6: Gauß'sches Kriterium

Die Präferenzfunktionen sind in den obigen Abbildungen gemäß der Annahme ausgestaltet, dass das betrachtete Kriterium zu maximieren ist. Wenn ein Kriterium zu minimieren ist, so müssen die Präferenzfunktionen gespiegelt werden. Dies resultiert daraus, dass in diesem Falle kleinere Kriterienausprägungen besser sind und folglich negative Differenzen zu größerer Präferenz führen. Die Schwellenwerte, die für einige Präferenzfunktionen benötigt werden, werden hierbei von den Entscheidungsträgern festgelegt. Da die Interpretation und die Wirkungsweise der Schwellenwerte oftmals nicht ganz klar sind, gilt es, den Entscheidungsträger durch den Analysten hierbei zu unterstützen. Gängig ist auch das Vorgehen, die Schwellenwerte anhand der Kriterienausprägungen abzuleiten. Es muss jedoch beachtet werden, dass durch eine solche, automati-

sierte Ermittlung der Schwellenwerte dem Entscheidungsträger die Möglichkeit genommen wird, seine Präferenzen detailliert abzubilden. Daher sollte erst in einem zweiten Schritt auf dieses Vorgehen zurückgegriffen werden, falls eine andere Festlegung nicht adäquat durchzuführen ist oder aber die „automatisierte“ Ansetzung im Anschluss kritisch hinterfragt werden.

4.2.2 Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung

Bei PROMETHEE kann die Kriteriengewichtung so interpretiert werden, dass sie die relative Bedeutung des Kriteriums im Vergleich zu sämtlichen weiteren Kriterien ausdrückt. Die Bandbreite der Ausprägungen muss bei der Festlegung der Gewichtung nicht zwingend berücksichtigt werden, wie dies beim Verfahren wie MAUT beispielsweise der Fall ist. Somit wird bei PROMETHEE keine Gewichtungsmethode explizit vorgegeben, es muss nur ein Gewichtungsvektor erzielt werden.

Zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren lassen sich daher die verschiedenen Ansätze verwenden, die in Kapitel 3 beschrieben wurden.

4.2.3 Bestimmung der Outranking-Relationen

Nachdem die Präferenzfunktionen definiert und die Kriteriengewichtungen festgelegt wurden, lassen sich die **Outranking-Relationen** ermitteln. Es wird hierbei für jeden Paarvergleich eine Outranking-Relation ermittelt. Der Begriff *Outranking* kann mit „Prävalenz-Relation“ oder auch als „wichtiger sein“ übersetzt werden, d.h. es wird im Rahmen der Paarvergleiche in beide Richtungen ermittelt, inwieweit z.B. die Alternative A gegenüber der Alternative B über sämtliche Kriterien präferiert wird und umgekehrt. Die Outranking-Relation lässt sich daher als Maß für die Präferenz einer Alternative gegenüber einer anderen Alternative verstehen, wobei sich ähnlich den Präferenzfunktionen ein Wert zwischen 0 (Indifferenz) und 1 (strikte Präferenz) ergibt.

Zur konkreten Ermittlung müssen zunächst anhand der Differenzen der Kriterienausprägungen der betrachteten Alternativen die Präferenzwerte bestimmt werden, die sich anhand der Präferenzfunktionen für die einzelnen Kriterien ergeben. Die Outranking-Relation ergibt sich dann über die Summe der erzielten Präferenzwerte, wobei die einzelnen Präferenzwerte hinsichtlich der einzelnen Kriterien zusätzlich mit der jeweiligen Kriteriengewichtung multipliziert werden. Formelhaft lässt sich dies darstellen:

$$\pi(A_i, A_j) = \sum_{k=1}^K w_k \cdot p_k(A_i, A_j)$$

$\pi(A_i, A_j)$ bezeichnet hierbei die Outranking-Relation von Alternative A_i zu A_j , d.h. das Maß, inwieweit A_i gegenüber A_j präferiert wird. Die Ermittlung erfolgt hierbei über sämtliche Kriterien (von $k = 1$ bis K (Anzahl Kriterien)), wobei jedes Kriterium mit dem dazugehörigen Gewicht w_k multipliziert wird. Abschließend werden sämtliche Outranking-Relationen in einer Matrix zusammengefasst, wobei die Hauptdiagonale logischerweise den Wert Null aufweist.

	A₁	A₂	A₃	A₄
A₁	0	0,158	0,123	0,475
A₂	0,540	0	0,663	0,468
A₃	0,357	0,268	0	0,410
A₄	0,525	0,275	0,525	0

Abbildung 20: Darstellung der Outranking-Relationen in einer Matrix

4.2.4 Berechnung der Aus- und Eingangsflüsse

Auf Basis der Outranking-Relationen wird nun für jede Alternative der Aus- und Eingangsfluss ermittelt. Hierbei handelt es sich um zwei Flussgrößen, die ausdrücken, inwieweit eine Alternative im Vergleich mit den anderen Alternativen Vor- und Nachteile aufweist. Die Aus- und Eingangsflüsse der Alternativen stellen daher auch die Grundlage für die Ermittlung der Rangfolgen dar.

Der **Ausgangsfluss** einer Alternative i wird mit Φ_i^+ bezeichnet. Er ergibt sich aus der normierten Summe der Outranking-Relationen $\pi(A_i, A_j)$, d.h. es werden die Paarvergleiche aggregiert, die ausdrücken, inwieweit Alternative i gegenüber den einzelnen Alternativen j präferiert wird. Der Ausgangsfluss stellt somit dar, wie stark eine Alternative gegenüber sämtlichen weiteren Alternativen bevorzugt wird. Aufgrund der Normierung liegt der Wert wiederum zwischen 0 und 1, wobei höhere Werte besser sind. Der Ausgangsfluss kann somit folgendermaßen gemessen werden:

$$\Phi_i^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(A_i, A_j)$$

Der **Eingangsfluss** einer Alternative i folgt dem gleichen Berechnungsschema, nur werden die jeweils gegensätzlichen Paarvergleiche einbezogen. Der Eingangsfluss wird hierbei mit Φ_i^- bezeichnet. Auch dieser ergibt sich über die normierte Summe der Outranking-Relationen, diesmal werden jedoch die gegensätzlichen $\pi(A_j, A_i)$ berücksichtigt. Dementsprechend wird über die Aggregation dieser Paarvergleiche abgebildet, inwieweit Alternative i von sämtlichen weiteren Alternativen j dominiert wird. Auch hier liegt aufgrund der Normierung der Wert wiederum zwischen 0 und 1, wobei höhere Werte schlechter sind. Bei der graphischen Darstellung wird gegebenenfalls auch ein negatives Vorzeichen aufgenommen und der Eingangsfluss dementsprechend abgebildet. Der Eingangsfluss kann somit folgendermaßen berechnet werden:

$$\Phi_i^- = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(A_j, A_i)$$

	A₁	A₂	A₃	A₄	Φ⁺
A₁	0	0,158	0,123	0,475	0,252
A₂	0,540	0	0,663	0,468	0,557
A₃	0,357	0,268	0	0,410	0,345
A₄	0,525	0,275	0,525	0	0,442
Φ⁻	0,474	0,233	0,437	0,451	

Abbildung 21: Outranking-Relationen und resultierende Aus- und Eingangsflüsse

4.2.5 Aggregation und Auswertung nach PROMETHEE I und II

Die ermittelten Aus- und Eingangsflüsse sowie die daraus resultierenden Nettoflüsse werden schließlich zur Ermittlung einer Rangfolge verwendet. Um die Rangfolgen zu ermitteln werden die Flüsse hierfür oftmals zunächst in einem Säulendiagramm graphisch dargestellt. Die Eingangsflüsse werden manchmal als negative Balken abgebildet, auch wenn dies nicht ganz korrekt ist, da der Eingangsfluss gemäß der Berechnungslogik einen positiven Wert zwischen 0 und 1 aufweisen müsste und auch als solcher in die Berechnung des Nettoflusses eingeht. Der Nettofluss zeigt die Differenz der Balken an. Auf Basis der Aus- und Eingangsflüsse lassen sich bei PROMETHEE zur Ergebnisdarstellung zwei Arten von Ordnungen ermitteln. Je nachdem, welche Ordnung erzielt werden soll, wird zwischen den beiden Varianten PROMETHEE I und II unterschieden.

PROMETHEE I hat zum Ziel, eine sogenannte partielle Präordnung zu ermitteln. Das besondere an dieser partiellen Präordnung ist, dass neben Präferenzen und Indifferenz auch Unvergleichbarkeiten abgebildet werden können. Hierin liegt zudem eines der besonderen Merkmale von PROMETHEE begründet. Die Unvergleichbarkeiten resultieren hierbei aus dem parallelen Vergleich von Aus- und Eingangsflüssen. So liegt nur eine Präferenz vor, wenn eine Alternative sowohl einen größeren Ausgangsfluss als auch einen kleineren Eingangsfluss aufweist. Sollte der Ausgangsfluss zwar höher sein, aber der Eingangsfluss im direkten Vergleich zweier Alternativen auch größer ausfallen (oder umgekehrt), so liegt Unvergleichbarkeit vor. Diese wird in der partiellen Präordnung darüber dargestellt, dass keine gerichtete Verbindung zwischen den Alternativen besteht, d.h. es wird keine Dominanz einer Alternative abgebildet.

Zudem kann nach PROMETHEE II eine vollständige Präordnung erzielt werden, die in der Literatur auch des Öfteren als Totalordnung bezeichnet wird. Zu diesem Zweck werden der Aus- und Eingangsfluss zu einem Nettofluss aggregiert, wodurch eine eindeutige Rangfolge (siehe Abbildung 23) erreicht wird. Der Nettofluss berechnet sich folgendermaßen:

$$\Phi_i^{net} = \Phi_i^+ - \Phi_i^-$$

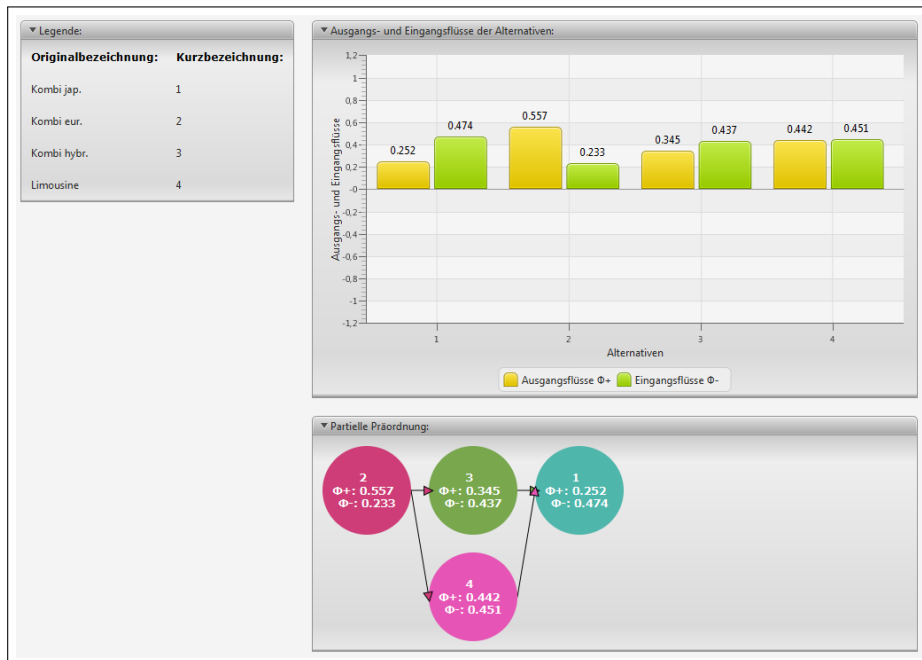


Abbildung 22: Outranking-Relationen und resultierende Ein- und Ausgangsflüsse

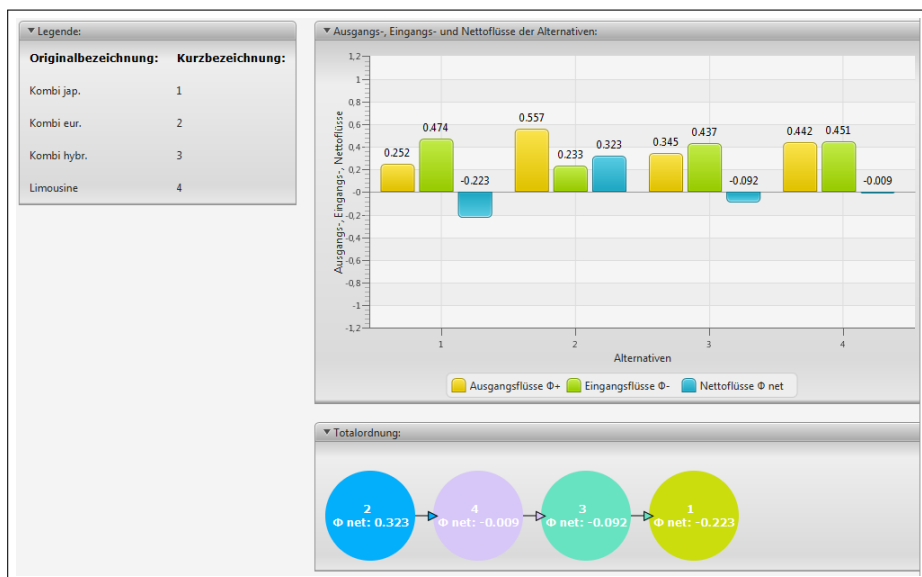


Abbildung 23: Outranking-Relationen und resultierende Ein- und Ausgangsflüsse

Da bei der Aggregation zum Nettofluss Informationen verloren gehen, ist es jedoch zu empfehlen, sowohl PROMETHEE I als auch PROMETHEE II anzuwenden.

Zudem sollte bei PROMETHEE eine Sensitivitätsanalyse, z.B. in Form von Insensitivitätsintervallen, durchgeführt werden. So können der Einfluss der Gewichtungsfaktoren, die Wahl der Präferenzfunktionen sowie die angesetzten Schwellenwerte getestet werden.

4.3 Interpretation der GAIA-Ebene

Zur Visualisierung der Ergebnisse und um eine bessere Interpretation zu ermöglichen, wird bei PROMETHEE die GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Assistance)-Ebene verwendet. Mittels der GAIA-Ebene ist es zum einen möglich zu identifizieren, welche Kriterien für welche Alternative unterstützend wirken und wie wichtig diese Kriterien für das gesamte Entscheidungsproblem sind. Zudem wird sichtbar, ob Kriterien ähnliche oder gegenläufige Tendenzen aufweisen oder voneinander unabhängig sind. Hierzu wird eine Darstellung in einem zweidimensionalen Raum vorgenommen, in dem die Kriterien über Strahlen abgebildet werden, die ausgehend vom Ursprung in unterschiedliche Richtungen zeigen. Die Alternativen werden auf Basis ihrer Kriterienausprägungen im Raum als Punkte positioniert.

Die Richtung, in welche ein Kriterium zeigt, deutet hierbei auf die Alternative(n), die durch dieses Kriterium unterstützt werden. Die Länge des Strahls repräsentiert hierbei das Ausmaß des Einflusses des Kriteriums bezüglich des Vergleichs der Alternativen im Kontext des gesamten Entscheidungsproblems. Wenn zwei Kriterien ähnliche Präferenzen unterstützen, zeigen sie ungefähr in die gleiche Richtung. Gegenläufige Kriterien weisen demzufolge in entgegengesetzte Richtungen. Stehen zwei Kriterien senkrecht zueinander (d.h. ungefähr im 90-Grad Winkel), sind sie unabhängig voneinander.

Eine Zusammenfassung der Auswirkungen sämtlicher Kriterien wird über die decision axis π bzw. den decision stick abgebildet. Die Alternativen, die in der Richtung liegen, in die π deutet, stellen geeignete Alternativen hinsichtlich des ganzheitlichen Problems dar. Es kann sich z.B. um gute Kompromisse bei mehreren, gegenläufigen Kriterien handeln. Die Länge von π spiegelt hierbei die Aussagekraft wieder, sodass bei einem kurzen Strahl π das Ergebnis kritisch geprüft werden sollte. Der decision stick wiederum gibt die Bandbreite und Richtung an, wie sich π bei unterschiedlichen Gewichtungen verändert. Er repräsentiert somit eine Art Sensitivitätsanalyse. Bei der praktischen Anwendung sollte berücksichtigt werden, dass die Interpretation der GAIA-Ebene mit zunehmender Anzahl an Kriterien schwerer fällt.

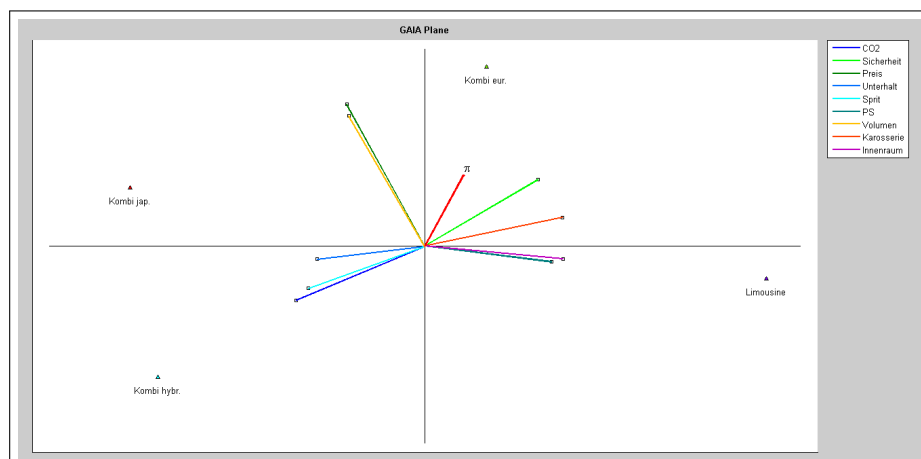


Abbildung 24: Beispielhafte GAIA-Ebene [Darstellung über Software SIMADA (siehe Bertsch (2008))]

Weiterführende Literatur

Der vorliegende Leitfaden hatte zum Ziel, einen übersichtlichen Einblick in die **Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung** zu liefern. Hinsichtlich einer weiteren Vertiefung in die Thematik soll die folgende Literaturübersicht eine Orientierungshilfe bieten.

Belton, V.; Stewart, T. (2003): *Multiple Criteria Decision Analysis*, Kluwer Academic Publishers Boston

Bertsch, V. (2008): *Uncertainty Handling in Multi-Attribute Decision Support for Industrial Risk Management*, Dissertation, Universität Karlsruhe, Universitätsverlag Karlsruhe

Brans, J.P.; Vincke, P.; Mareschal, B. (1986): How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, in: *European Journal of Operational Research*, 24, S. 228-238

Department for Communities and Local Government (2009): *Multi-criteria analysis: a manual*, London

Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M (2005): *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer New York

French, S. (1986): *Decision Theory - an introduction to the mathematics of rationality*, Ellis Horwood

French, S. (1995): Uncertainty and Imprecision: Modelling and Analysis, in: *The Journal of the Operational Research Society*, 46, S. 70-79

Geldermann, J. (1999): *Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung*, Dissertation, Universität Karlsruhe, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16, Nr. 105, VDI Verlag Düsseldorf

Geldermann, J. (2005): *Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion*, Universitätsverlag Karlsruhe

Hämäläinen, R.P.; Alaja, S. (2008): The threat of weighting biases in environmental decision analysis, in: *Ecological Economics*, 68, S. 556-569

Hwang, C.-L.; Yoon, K. (1981): *Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications: State of the Art Survey*, Springer Berlin

Keeney, R.L.; Raiffa, H. (1976): *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley New York

Keeney, R.L. (1992): *Value-Focused Thinking - A Path to Creative Decision-making*, Harvard University Press Cambridge

Miettinen, P.; Hämäläinen, R.P. (1997): How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA), in: *European Journal of Operational Research*, 102, S. 279-294

Miller, G. A. (1956): The magic number seven plus or minus two: some limits on our capacity for communicating information, in: *The Psychological Review*, 63, S. 81-97.

Oberschmidt, J. (2010): *Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme*, Dissertation, Universität Göttingen

Roy, B. (1980): Selektieren, Sortieren und Ordnen mit Hilfe von Prävalenzrelationen, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Bd. 32, S. 465-497

Stewart, T.J. (1992): A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making - Theory and Praxis, in: *OMEGA - International Journal of Management Science*, 20, S. 569-586

Treitz, M. (2006): *Production Process Design Using Multi-Criteria Analysis*, Dissertation, Universität Karlsruhe, Universitätsverlag Karlsruhe

Tversky, A.; Kahneman, D. (1974): Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases, in: *Science*, New Series, 185, 4157, S. 1124-1131

Zhang, K. (2004): *Entwicklung eines integrierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems für Gruppen*, Dissertation, Universität Karlsruhe, Universitätsverlag Karlsruhe

Zimmermann, H.J.; Gutsche, L. (1991): *Multi-Criteria Analyse*, Springer Berlin