

2. Kapitel

Entscheidungstheorie und Entscheidungshilfeverfahren für komplexe Entscheidungssituationen

Katrin Borchering

2.1 Entscheidungsanalytischer Ausgangspunkt

2.1.1 Allgemeine Problemstellung

In der Entscheidungsforschung wird untersucht, wie Entscheidungen getroffen werden oder wie sie getroffen werden sollten. Der erste Aspekt wird als deskriptiv, der zweite als normativ bzw. präskriptiv bezeichnet. *Deskriptive* Entscheidungsforschung dient dem Interesse, tatsächliches Entscheidungsverhalten von Personen zu beschreiben und zu erklären. Hierzu wird unter Berücksichtigung des Kontextes der Einfluß verschiedener Variablen auf die Entscheidungsfindung untersucht, und es werden Theorien entwickelt, welche das konkrete Entscheidungsverhalten vorherzusagen gestatten. *Normative* oder *präskriptive* Entscheidungsforschung stellt sich demgegenüber die Aufgabe, ausgehend von verfügbaren Informationen die optimale Entscheidungsalternative im Hinblick auf die zugrunde gelegten Ziele zu finden. Die hierzu entwickelten Modelle oder Theorien schreiben einem um „Optimalität“ bzw. um „Rationalität“ bemühten Entscheider vor, wie er sich zu verhalten und zu entscheiden habe. Dabei gehen *normative* Theorien im engeren Sinn von allgemein anerkannten Zielen aus und stellen den besten Weg für jeden bereit, der dieses „objektive“ Kriterium zu maximieren sucht. *Präskriptive* Theorien beziehen sich auf subjektive Ziele und versuchen entsprechend, subjektive Kriterien zu maximieren: Ausgehend von individuellen Präferenzen werden Entscheidungsempfehlungen abgeleitet, die für ein „rational“ handelndes Individuum zu Entscheidungsvorschriften werden.

Während nicht alle Autoren zwischen der normativen und der präskriptiven Perspektive unterscheiden, ist die Unterscheidung zwischen einer deskriptiven und einer normativen/präskriptiven Betrachtungsweise von Entscheidungssituationen durchgehend anzutreffen. Deskriptive Entscheidungsforschung wird aufgrund der angewandten Methodik und der zu erwartenden Erkenntnisse vorrangig als Teildisziplin der Psychologie verstanden. Demgegenüber ist die normative/präskriptive Entscheidungsforschung mit dem analytisch-deduktiven Ansatz weit mehr fachübergreifend, wenngleich die Anwendungen bislang insbesondere wirtschaftlichen, administrativen sowie medizinischen Problemstellungen galten. Wie die deskriptive und die normative Perspektive aufeinander bezogen werden können, soll Abbildung 1 andeuten.

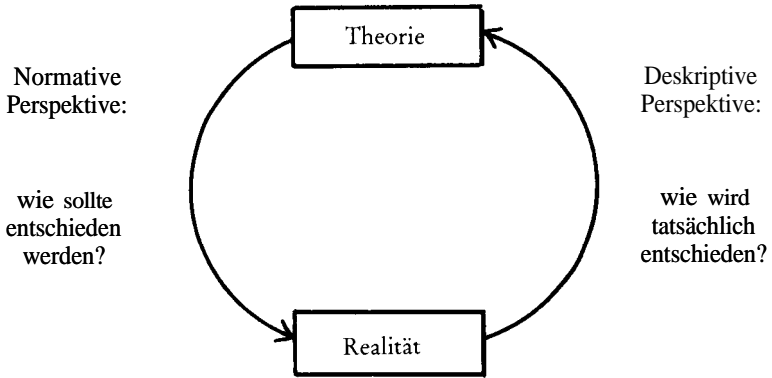


Abb. 1: Normative und deskriptive Perspektive der Entscheidungsforschung

In diesem Kapitel soll eine präskriptive Perspektive dargelegt und dabei der Schwerpunkt auf Entscheidungsverfahren für komplexe Entscheidungssituationen gelegt werden. Auf psychologisch-deskriptive Ansätze wird nicht speziell eingegangen werden, siehe dazu aber Bettman (1979), Einhorn und Hogarth (1981), Frey (1981), Harnmond, McClelland und Mumpower (1980), Hill (1979), Hogarth (1980), Janis und Mann (1979) und Wallsten (1980).

Wenn im folgenden von dem „Entscheider“ gesprochen wird, so ist darunter diejenige „Einheit“ zu verstehen, die die Entscheidung zu treffen hat. Dies kann eine Person, ein Haushalt, ein Gremium, eine Firma, eine Regierung usw. sein. Auch wenn die Entscheidung von mehreren Personen getroffen wird, soll diese Gruppe von Personen als „Entscheidungssubjekt“ verstanden werden. Ferner sollen nur „rationale“ Entscheidungen betrachtet werden, Entscheidungen also, die bewußt, überlegt, begründbar und in sich konsistent und schlüssig sind. Von einem um Rationalität bemühten Entscheider wird man erwarten, daß er sich die möglichen Konsequenzen einer bevorstehenden Entscheidung vergegenwärtigt, sie bewertet und gegeneinander abwägt, bevor er seine Entscheidung trifft. Die Entscheidung selbst ist dann die Wahl einer Handlungsalternative (auch: Aktion, Option, Strategie) aus einer vorgegebenen Menge möglicher Handlungsalternativen.

Die Entscheidungsanalyse bietet einen formalen Rahmen zur Analyse komplexer Entscheidungssituationen, die durch Unsicherheit gekennzeichnet sind und in denen gleichzeitig mehrere Zielsetzungen verfolgt werden. Die betrachteten Alternativen führen zu verschiedenen Konsequenzen, und Entscheidungen für Alternativen fallen in Abhängigkeit von der Bewertung der Gesamtheit ihrer Konsequenzen. Dabei werden hinsichtlich jeder einzelnen Konsequenz zwei Aspekte als bedeutsam konzeptualisiert:

- Die Bewertung der Güte einer Konsequenz (auch Nutzen, Wert, Wünschbarkeit) und
- die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Konsequenz eintreten wird.

Die Komplexität einer Entscheidungssituation kann vielfältige Ursachen haben:

Es besteht unvollkommenes Wissen über die Handlungsalternativen, die möglich sind;

- jede einzelne Alternative führt gleichzeitig zu Konsequenzen, die in verschiedenen Dimensionen liegen;
- die mit den Alternativen verbundenen Konsequenzen sind nicht mit Sicherheit vorhersagbar, da sich Entscheidungen auf zukünftige Sachverhalte beziehen;
- der Entscheider kennt seine Präferenzen nicht so genau und weiß nicht immer, was ihm wichtig bzw. weniger wichtig ist;
- es existiert keine Alternative, die allen anderen eindeutig, d.h. in allen Belangen, überlegen ist.

Die optimale Alternative ist diejenige, mit deren Gesamtheit von Konsequenzen der Entscheider insgesamt am zufriedensten ist. Es stellt sich die Frage, inwieweit er diese zu finden befähigt ist und ob Entscheidungshilfen möglich sind.

Jeder trifft täglich Entscheidungen in privaten oder öffentlichen Belangen, sowohl kurzfristige und unbedeutsame als auch immer wieder bedeutsame mit wichtigen und dauerhaften Konsequenzen. Sind wir aufgrund unserer Erfahrung und mit Hilfe unseres kognitiven Apparates darauf vorbereitet und dazu befähigt? Wie in vielen empirischen Untersuchungen gezeigt werden konnte (vgl. 2.1.2), ist der Mensch offensichtlich - insbesondere in komplexen Entscheidungssituationen - in mehrfacher Hinsicht kein guter Entscheider und nur beschränkt in der Lage, die für ihn günstigste Handlungsalternative zu wählen. Die Entwicklung von Entscheidungshilfungsverfahren basiert entsprechend auf den folgenden Überlegungen:

Personen sind in komplexen Situationen mit einer ‚rationalen‘ Entscheidungsfindung überfordert (siehe 2.1.2);

- Entscheidungssituationen weisen unabhängig vom jeweiligen inhaltlichen Kontext eine bestimmte Struktur auf (siehe 2.2);
- wird diese Struktur im Hinblick auf konkrete Entscheidungssituationen herausgearbeitet (qualitativer Aspekt), können die einzelnen Elemente leichter bewertet und die Bewertungen angemessener aggregiert werden (quantitativer Aspekt).

Entscheidungsanalytische Verfahren dienen der Unterstützung des Entscheiders in seinem Bemühen, die optimale Alternative zu finden. Die verschiedenen in diesem allgemeinen Rahmen entwickelten Prozeduren können als Entschei-

dungshilfen bezeichnet werden. Eine Darstellung solcher formalisierter Verfahren erfolgt in den Abschnitten 2.3 bis 2.8. Eine übergreifende Darstellung zur wissenschaftlichen und politischen Bedeutung der Entscheidungstheorie gibt Rittel (1966).

2.1.2 Auswirkungen menschlicher Informationsverarbeitung auf das Entscheidungsverhalten

Bei allen wichtigen, nicht unter Zeitdruck stehenden Entscheidungen wird der Entscheider zunächst bemüht sein, möglichst viele und gute Informationen zu sammeln. Dabei geht man von der naheliegenden Überlegung aus, daß die Güte individueller Entscheidungen weitgehend von der Qualität und Quantität vorliegender Informationen abhängt. Nach der Informationssuche müssen die zur Verfügung stehenden Informationen bewertet, ihrer Bedeutung nach gewichtet und zu einem Gesamturteil integriert werden. Aufgrund dieses Urteils erfolgt dann die Wahl einer Handlungsalternative. Diese Prozesse - Informationssuche, Informationsbewertung und Informationsaggregation - werden in aller Regel intuitiv, d.h. „im Kopf“ des Entscheiders, durchgeführt. Es ist zu fragen, inwieweit Personen in der Lage sind, diese Aufgaben angemessen durchzuführen.

2.1.2.1 Beschränkung individueller Informationsverarbeitung hinsichtlich der Informationsmenge

Ein wesentlicher Grund für die Entwicklung von Entscheidungshilfverfahren liegt in der begrenzten menschlichen Fähigkeit, Informationen zu speichern und zu verarbeiten. Als einer der ersten untersuchte Miller (1956) systematisch, wie viele Informationen der Mensch gleichzeitig verfügbar halten kann und kam zu einem wenig ermutigenden Ergebnis: In der Regel können nur zwischen fünf und neun Informationen bzw. Informationseinheiten („chunks“) im Gedächtnis gespeichert werden. Dies entspricht dem, was Untersuchungen zum Kurzzeitgedächtnis gezeigt haben. Es stellt gleichzeitig die obere Grenze der für eine weitere Informationsverarbeitung zugänglichen Informationen dar; siehe hierzu auch Newell und Simon (1972). Hoffman und Blanchard (1961) untersuchten, wie viele Informationen der Mensch in seinen Urteilen angemessen berücksichtigt. Sie ließen Urteiler das Körpergewicht von Personen, die auf zwei, fünf und sieben körperlichen Merkmalen beschrieben wurden, schätzen und stellten fest, daß mit zunehmender Informationsmenge 1. die Vorhersagen weniger stark variierten und 2. geringer mit dem tatsächlichen Gewicht korrelierten. In mehreren Untersuchungen zum Konsumentenverhalten zeigte Jacoby (zusammenfassend: Jacoby, 1975), daß sich die Güte von Entscheidungen mit der Anzahl der Informationen zunächst verbessert, um sich bei einem weiteren Ansteigen der Informationsmenge wieder zu verschlechtern. Dabei

nahm die Zufriedenheit mit der Entscheidung wie auch die Überzeugung, eine richtige Entscheidung getroffen zu haben (Konfidenz), monoton mit der Informationsmenge zu. Ergebnisse dieser Art werden in anderem Kontext auch von Goldberg (1968) berichtet: In einer klinischen Diagnosesituation kamen Personen häufiger zu richtigen Urteilen, wenn sie nur wenige, aber wichtige Informationen zu integrieren hatten. Zusätzliche Informationen verschlechterten das Urteil selbst dann noch, wenn die wichtigen Informationen als solche gekennzeichnet waren. Oskamp (1965) stellte fest, daß zusätzliche Informationen keinen Einfluß auf die Güte von Urteilen hatten. Hingegen stieg das Vertrauen in die Richtigkeit der eigenen Urteile weiterhin und, gemessen an der Güte der Urteile, unproportional an.

2.1.2.2 Beschränkung individueller Informationsverarbeitung hinsichtlich der Gewichtung von Informationen

Zur Entscheidungsfindung sind meist mehrere Informationen zu berücksichtigen, die ein unterschiedliches Gewicht haben können. Fragt man einerseits Urteiler, wie sie bei der Gewichtung von Informationen vorgegangen sind, und schätzt andererseits die von ihnen tatsächlich vorgenommene Gewichtung mittels multipler Regressionen aus den Urteilen, so treten erhebliche Diskrepanzen auf. Eine Übersicht zu entsprechenden Befunden geben Slovic, Fischhoff und Lichtenstein (1977) sowie Slovic und Lichtenstein (1971). Ein typischer Befund liegt darin, daß die direkt geschätzten Gewichte weniger stark variieren als die aus den Urteilen rückgerechneten Gewichte: In ihren Urteilen vernachlässigen Menschen weniger gewichtige Informationen in stärkerer Weise, als sie dies zu tun meinen. Dieser Sachverhalt wurde bereits von Shepard (1964) erörtert und von Slovic (1975) eindrucksvoll erneut belegt. Personen wurden vor die Wahl zwischen jeweils 2 Alternativen gestellt, die von ihnen zuvor als gleich gut beurteilt worden waren. Innerhalb jedes Paares war die eine der Alternativen auf einer wichtigen Dimension der anderen überlegen, aber so viel schlechter auf den weniger wichtigen Dimensionen, daß Vor- und Nachteile sich ausglich. In der konkreten Wahlsituation waren Personen nur selten indifferent und wählten in der Mehrzahl die auf der wichtigen Dimension überlegene Alternative. Die Ergebnisse bestätigen, daß das Urteilsverhalten durch einfache Mechanismen bestimmt wird, indem aus der Vielzahl der Informationen unwichtige vernachlässigt und wichtige übermäßig stark beachtet werden. Solche Vereinfachungsstrategien sind geeignet, die kognitive Belastung bei der Informationsverarbeitung zu reduzieren.

2.1.2.3 Beschränkung individueller Informationsverarbeitung hinsichtlich der Aggregationsregeln

Befragt man Personen, wie sie in Urteilsituationen die einzelnen Informationen zu einem Gesamturteil als Entscheidungsgrundlage aggregieren, so meinen

sie, neben den Einzelinformationen auch Interaktionen sowie spezielle Konfigurationen der Daten berücksichtigt zu haben. Wie aber Goldberg (1968, 1970) und Hammond und Summers (1965) zeigten, können individuelle Gesamturteile weitgehend mit Hilfe eines einfachen linearen Modells beschrieben werden.

Allerdings kann man diesen Befund auch damit erklären, daß lineare Modelle, selbst wenn sie strukturell unangemessen sind, immer noch fast die gesamte Varianz erklären; siehe Fischer (1972) und Yntema und Torgerson (1961) für empirische Belege, Birnbaum (1973), Camerer (1981), Dawes (1979), Dawes und Corrigan (1974), Johnson und Mai (1979) und Schmitt und Levine (1977) für eine theoretische Diskussion. Aus den hohen Korrelationen um .90 und höher zwischen Vorhersagen aus additiven Modellen mit den tatsächlichen Urteilen läßt sich also nicht schließen, daß Interaktionsterme nicht berücksichtigt werden - dies könnte nur über einen „conjoint-measurement“-Ansatz erfolgen (Krantz & Tversky, 1971). Freilich konnte die Überlegenheit komplexer Aggregationsregeln auch in solchen Entscheidungssituationen nicht nachgewiesen werden, speziell wegen ihrer hohen Kontextabhängigkeit ausgesucht wurden, siehe z.B. Goldberg (1969, 1971) oder Hoffman, Slovic und Rorer (1968). Der Prozeß der Informationsverarbeitung ist offensichtlich einfacherer Natur, und es erscheint zweifelhaft, ob die tatsächliche Anwendung der vom Urteiler beschriebenen elaborierten Verfahrensweisen zu besseren Ergebnissen führen.

2.1.2.4 Prinzipien und Strategien der Informationsverarbeitung

Wie aber gehen Personen bei der Informationsverarbeitung tatsächlich vor? Nach Ergebnissen von Slovic, Kahneman, Tversky und anderen lassen sie sich von vereinfachten Hilfsstrategien leiten, die im günstigsten Fall den Charakter von Heuristiken haben, also „Daumenregeln“ gleichkommen und „einfach“, aber „clever“ sind. Im ungünstigsten Fall aber führen sie zu „Biases“, d.h., sie bewirken eine systematische Verzerrung der Urteile. Überzeugende Belege hierfür geben Einhorn (1980a; 1980b), Hogarth (1981), Kahneman und Tversky (1979), Tversky (1977) sowie Tversky und Kahneman (1975; 1980; 1981); die Auswirkungen auf Entscheidungen werden in Humphreys, Wooler und Phillips (1980) diskutiert. Darüber hinaus ist die interne Repräsentation der Entscheidungssituation oft stark von der äußeren Vorgabe abhängig, und Personen konstruieren in Abhängigkeit von der Präsentation der Aufgabe verschiedene Problemräume, wie es Newell und Simon (1972) nennen. Tversky und Kahneman (1981) sprechen im Zusammenhang mit der unterschiedlichen Einkleidung von Entscheidungsproblemen von „framing of decisions“ und weisen nach, daß Personen bei gleichen Problemen Entscheidungen fällen, die in starker Weise von der speziell vorgegebenen „Einkleidung“ der Situation abhängen.

In neueren Arbeiten wie z.B. denen von Johnson und Russo (1981), Montgo-

mery (1983), Payne (1980), Russo (1978), Russo und Johnson (1980) und Russo und Rosen (1975) wird verstärkt versucht, den *Prozeß* der Informationsverarbeitung zu erkunden. Erkenntnisse hierzu können unter anderem auch dazu genutzt werden, Entscheidungssituationen persongerecht zu gestalten und dadurch Entscheidungen zu erleichtern und zu verbessern, wie beispielsweise Einhorn, Kleinmuntz und Kleinmuntz (1979) demonstrieren.

2.1.3 Zur Notwendigkeit formalisierter Entscheidungshilfefahrern

Die Analyse der bei der Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung ablaufenden Vorgänge durch die psychologische Forschung liefert wesentliche Erkenntnisse über die Rahmenbedingungen menschlicher Entscheidungen. Insbesondere in komplexen Entscheidungssituationen verlaufen menschliche Urteils- und Entscheidungsprozesse aus den dargestellten Gründen häufig nicht in der gewünschten und den inhaltlichen Erfordernissen angemessenen Weise. Bei bedeutsamen Entscheidungen wird man deshalb bemüht sein, den Einfluß typisch menschlicher Fehlerquellen auf die Entscheidungsfindung zu vermindern und dadurch die resultierenden Entscheidungen zu verbessern. Dieser Zielsetzung dient die Entscheidungsanalyse, die den Entscheider in seinem Bemühen, die bestmögliche Entscheidung zu treffen, unterstützt. Die in diesem Rahmen entwickelten Methoden sind ein formales Rüstzeug; sie bestehen aus logischen und statistischen Prozeduren, die geeignet sind, objektive Fakten und subjektive Beurteilungen zu berücksichtigen und sinnvoll in eine Entscheidung zu integrieren. Bevor schwerpunktmäßig solche formalisierten Verfahren behandelt werden, sollen wesentliche entscheidungstheoretische Grundlagen der Entscheidungsanalyse erläutert werden. Ausführliche Darstellungen geben Brown, Kahr und Peterson (1974), Fishburn (1970), Gäfgen (1963), Halter und Dean (1971), Howell und Fleishman (1981), Hwang (1979), Keeney und Raiffa (1976), Raiffa (1968), Rivett (1980), Schlaifer (1969) und Schoemaker (1980); einen zusammenfassenden Überblick geben Keeney (1982) und Vlek und Wagenaar (1979).

2.2 *Entscheidungstheoretische Grundlagen*

2.2.1 Allgemeine Definition einer Entscheidungssituation

Die systematische Entscheidungsanalyse bezieht sich mit ihren Methoden auf eine bestimmte Konzeptualisierung von Entscheidungssituationen, die - losgelöst von konkreten Inhalten - strukturelle Aspekte in den Vordergrund stellt. Diese im folgenden erläuterte Grundstruktur stellt die entscheidungstheoretische Ausgangsbasis dar.

2.2.1.1 Ausgangspunkt

Der Nutzen einer Handlungsalternative wird durch ihre Konsequenzen bestimmt und ist die Bewertung der Gesamtheit ihrer Konsequenzen durch den Entscheider. Ein rationaler Entscheider wird diejenige Handlungsalternative wählen, die in seiner Sicht die günstigsten Konsequenzen aufweist. Eine Entscheidung ist nicht schwer, wenn jede der Handlungsalternativen *sicher* zu einer *einzig*en Konsequenz führt und der Entscheider den Zusammenhang Handlungsalternative-Konsequenz kennt: Zu wählen ist diejenige Alternative, mit deren Konsequenz der Entscheider am meisten zufrieden ist. Beispiel: Während einer Auslandsreise habe ein Raucher die Wahl zwischen verschiedenen dort heimischen Zigarettenmarken, über die außer dem Preis keine Informationen verfügbar sind. Er wird sich allein nach der Preisdimension richten und entweder die billigste Marke wählen oder, falls er auf die Qualität rückschließt, eine im mittleren oder auch oberen Bereich. Entscheidungen dieser Art sind vergleichsweise sehr einfach, da nur eine Dimension zu berücksichtigen ist und Bevorzungen hinsichtlich der verschiedenen Konsequenzen in dieser Dimension identisch mit den Bevorzungen hinsichtlich der Handlungsalternativen sind.

Diese 1:1-Beziehung zwischen der Bewertung von Alternativen und Konsequenzen besteht nur selten, und in aller Regel ist es bedeutend schwerer, die bevorzugte Handlungsalternative zu erkennen, als zu wissen, welche spezielle Konsequenz man bevorzugt. Dies gilt z. B. schon dann, wenn zwei oder mehr Bewertungsaspekte zu berücksichtigen sind: Eine Handlungsalternative führt dann gleichzeitig zu Konsequenzen hinsichtlich der verschiedenen Bewertungsaspekte, die ihrerseits in verschiedenen Dimensionen liegen können und deshalb nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen sind. In Abhängigkeit von dem gerade betrachteten Bewertungsaspekt ist mal die eine, mal die andere Alternative zu bevorzugen. Die Entscheidungsaufgabe, nämlich die Handlungsalternative zu wählen, mit deren Konsequenzen der Entscheider *insgesamt* am zufriedensten ist, verlangt von ihm gegebenenfalls, wegen der Vorteile in dem einen Aspekt Nachteile in dem anderen Aspekt in Kauf zu nehmen: So ist eine in den Attributen Ausstattung, Größe und Lage gute Wohnung häufig nur über ein Nachgeben auf der Preisdimension zu bekommen.

Eine weitere Erschwernis tritt ein, wenn Alternativen nur mit Wahrscheinlichkeiten zu bestimmten Konsequenzen führen. Die aus der Wahl einer Handlungsalternative resultierenden Konsequenzen sind dann nicht sicher vorherzusehen und hängen von Faktoren der Umwelt ab, die abstrakt als „Zustände der Welt“ („states of the world“) bezeichnet werden. Für diese Zustände wird angenommen, daß 1. zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht bekannt ist, welcher spezielle Zustand auftreten wird und 2. der Entscheider das Auftreten der Zustände nicht beeinflussen kann. Ein Beispiel für diese Art von Entscheidungssituation ist der Kauf einer Aktie. Zwar ist nur ein Bewertungsaspekt

relevant, nämlich der prozentuale Gewinn, aber genau der ist nicht mit Sicherheit vorherzusagen und hängt von Variablen wie der „wirtschaftlichen Lage im allgemeinen und speziellen“, „dem Betriebsmanagement“ usw. ab, welche die Zustände der Welt definieren und die ein ‚kleiner‘ Aktienkäufer nicht beeinflussen kann.

2.2.1.2 Die Konsequenzenmatrix

Jede Entscheidungssituation kann in Form einer Konsequenzenmatrix dargestellt werden. Die möglichen Konsequenzen einer Entscheidung hängen von einer Vielzahl von Determinanten ab. Dabei spannen die Variablen, die dem Einflußbereich des Entscheiders unterliegen, den Aktionsraum auf, in welchem die verschiedenen Handlungsalternativen definiert sind. Diejenigen Variablen, welche nicht dem Einflußbereich des Entscheiders unterliegen, spannen den Zustandsraum auf, in dem die verschiedenen Zustände als Äquivalenzklassen zu definieren sind.

Die Konsequenzenmatrix sei an einem Beispiel demonstriert. Morgens am Frühstückstisch mag sich ein Entscheider überlegen, ob er einen Schirm zur Arbeit mitnehmen soll. Das momentane Wetter sei zwar trübe, aber trocken; im Wetterbericht wurde Regen angesagt. Es mögen sich für den Entscheider die beiden Handlungsalternativen A_1 und A_2 (von Aktionen) ergeben, mit A_1 : = keinen Schirm mitzunehmen und A_2 : = vorsichtshalber einen Schirm mitzunehmen. Es seien ferner drei hypothetische „Zustände der Welt“ unterschieden, die entsprechend der Konvention als H (von Hypothesen) bezeichnet werden: H_1 : = kein Regen, H_2 : = leichter Regen und H_3 : = starker Regen. Jedem Handlungs-Zustands-Paar (A_i, H_j) sind dann Konsequenzen zugeordnet. Die für einen Entscheider relevanten Konsequenzen sollen hier in drei Attributen liegen, wobei die Attribute an sich mit großen Buchstaben, die speziellen Konsequenzen in Attributen mit kleinen Buchstaben bezeichnet werden:

- X_1 : = einen Schirm tragen zu müssen, mit x_{11} : = ja und x_{12} = nein.
- X_2 : = naß zu werden, mit den speziellen Konsequenzen x_2 , hier die verschiedenen Körperregionen, die naß werden, z.B. x_{21} : = gar nicht, x_{22} : = an Kopf, Schultern und Armen, x_{23} : = an den Füßen und x_{24} : = am ganzen Körper.
- X_3 : = eine Erkältung davonzutragen, wobei hier nicht zwischen verschiedenen schweren Erkältungen unterschieden werden soll. Dann gelten die Konsequenzen x_{31} : = ja und x_{32} : = nein.

Die Konsequenzen im Attribut X_1 sind dichotom und treten sicher ein; die Konsequenzen im Attribut X_2 sind im Prinzip kontinuierlich und sicher; die Konsequenzen im Attribut X_3 sind wieder dichotom, treten aber im Gegensatz zu X_1 nicht sicher, sondern nur mit gewissen Wahrscheinlichkeiten ein.

Die Konsequenzen der verschiedenen Handlungs-zustandspaare sind in einer Konsequenzenmatrix („outcome-matrix“) darstellbar und sind für dieses Beispiel in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Beispiel einer Konsequenzenmatrix für die Entscheidungssituation, einen Schirm mitzunehmen

Handlungs- alternative	Attribut	ZUSTANDE DER WELT (H)		
		H ₁ : kein Regen	H ₂ : leichter Regen	H ₃ : starker Regen
		P(H ₁) = ?	P(H ₂) = ?	P(H ₃) = ?
A ₁ : Schirm nicht mitnehmen	X ₁ : Schirm tragen	x ₁₂ : nein	x ₁₂ : nein	x ₁₂ : nein
	X ₂ : naß werden	x ₂₁ : gar nicht	x ₂₂ : an Kopf, Armen und Schultern	x ₂₄ : am ganzen Körper
	X ₃ : Erkältung	x ₃₁ : ja, mit p ₁₁ = .01	x ₃₁ : ja, mit p ₁₂ = .04	x ₃₁ : ja, mit p ₁₃ = .10
		x ₃₂ : nein, mit q ₁₁ = 1-p ₁₁	x ₃₂ : nein, mit q ₁₂ = 1-p ₁₂	x ₃₂ : nein, mit q ₁₃ = 1-p ₁₃
A ₂ : Schirm mitnehmen	X ₁ : Schirm tragen	x ₁₁ : ja	x ₁₁ : ja	x ₁₁ : ja
	X ₂ : naß werden	x ₂₁ : gar nicht	x ₂₁ : gar nicht	x ₂₁ : an den Füßen
	X ₃ : Erkältung	x ₃₁ : ja, mit p ₂₁ = .01	x ₃₁ : ja, mit p ₂₂ = .02	x ₃₁ : ja, mit p ₂₃ = .03
		x ₃₂ : nein, mit q ₂₁ = 1-p ₂₁	x ₃₂ : nein, mit q ₂₂ = 1-p ₂₂	x ₃₂ : nein, mit q ₂₃ = 1-p ₂₃

In einem letzten Schritt müssen Informationen über das Wetter zu Wahrscheinlichkeitsaussagen hinsichtlich des Auftretens der verschiedenen Zustände der Welt, also P(H₁), P(H₂) und P(H₃), zusammengefaßt werden. Damit sind dann in der Konsequenzenmatrix alle in einer Entscheidung zu berücksichtigenden Informationen enthalten. Aus dieser Matrix ist aber noch nicht abzulesen, welche Handlungsalternative der Entscheider wählen sollte.

2.2.1.3 Die Entscheidungsmatrix

Die Entscheidungsmatrix resultiert aus der Konsequenzenmatrix, wobei die „objektiven“ Konsequenzen durch numerische Angaben zu dem Wert, den der Entscheider ihnen beimißt, ersetzt werden. Dieser subjektive Wert wird **Nutzen** genannt. Der Nutzen einer Konsequenz x wird mit u(x) bezeichnet, wobei das „u“ für „utility“ steht. Nutzen von Konsequenzen, also u(x), sind Zahlen, welche die Güte von x wiedergeben.

Aus der Konsequenzenmatrix mag sich für einen Entscheider die in Tabelle 2 spezifizierte Entscheidungsmatrix ergeben. Die Nutzenwerte für die verschiedenen Konsequenzen sind hier pro Attribut als die jeweiligen Verluste in bezug auf die beste Konsequenz angegeben. Für den hier betrachteten Entscheider seien die folgenden Konsequenzen optimal: 1. keinen Schirm tragen zu müssen, 2. trocken und 3. gesund zu bleiben. Der pro Attribut besten Konsequenz werde jeweils der Wert Null zugewiesen, andere Konsequenzen werden im Vergleich zur jeweils besten bewertet: Einen Schirm zu tragen bewertet dieser Entscheider um 5 Einheiten schlechter als keinen zu tragen, eine Erkältung davonzutragen um 500 Einheiten schlechter als gesund zu bleiben. In der untersten Zeile je Alternative stehen die U_{ij} -Werte, welche die Bewertungen der Konsequenzen, die bei Wahl der Handlungsalternative A_i und Auftreten des Zustandes H_j resultierenden, zusammenfassen. Wie solche Aggregationen erfolgen können, wird in den Abschnitten 2.5 und 2.6 behandelt. Sofern Sicherheit darüber vorliegt, welcher Zustand der Welt eintreten wird, resultiert die zu wählende Handlungsalternative unmittelbar aus der Entscheidungsmatrix: Der Zustand „kein Regen (H_1)“ sollte unseren Entscheider dazu veranlassen, keinen Schirm mitzunehmen (A_1), während bei den beiden Zuständen H_1 und H_2 „leichter“ bzw. „starker Regen“ A_2 zu wählen ist, d.h. „Schirm mitnehmen“. Besteht Ungewißheit darüber, welcher Zustand der Welt eintreten wird, z.B. $P(H_1) = .90$; $P(H_2) = P(H_3) = .05$, so sind Entscheidungskriterien notwendig, welche die in Abhängigkeit von den verschiedenen möglichen Zuständen resultierenden Nutzen gegeneinander abwägen (siehe dazu 2.8.2).

Tabelle 2: Beispiel einer Entscheidungsmatrix für die Entscheidungssituation, einen Schirm mitzunehmen

Handlungs- alternative	ZUSTÄNDE DER WELT (H)		
	H_1 : kein Regen <hr/> P(H_1) = .90	H_2 : leichter Regen <hr/> P(H_2) = .05	H_3 : starker Regen <hr/> P(H_3) = .05
A_1 : Schirm nicht mitnehmen	$u(x_{11}) = 0$ $u(x_{21}) = 0$ $u(x_{31}) = -500$ mit $p_{11} = .01$ <hr/> $U_{11} = - 5$	$u(x_{12}) = 0$ $u(x_{22}) = - 25$ $u(x_{31}) = -500$ mit $p_{12} = .04$ <hr/> $U_{12} = - 45$	$u(x_{12}) = 0$ $u(x_{24}) = - 50$ $u(x_{31}) = -500$ mit $p_{13} = .10$ <hr/> $U_{13} = -100$
A_2 : Schirm mitnehmen	$u(x_{11}) = - 5$ $u(x_{21}) = 0$ $u(x_{31}) = -500$ mit $p_{21} = .01$ <hr/> $U_{21} = -10$	$u(x_{11}) = - 5$ $u(x_{21}) = 0$ $u(x_{31}) = -500$ mit $p_{22} = .02$ <hr/> $U_{22} = -15$	$u(x_{11}) = - 5$ $u(x_{23}) = - 20$ $u(x_{31}) = -500$ mit $p_{23} = .03$ <hr/> $U_{23} = -40$

2.2.1.4 Zusammenfassung der Konstituenten einer Entscheidungssituation

Jeder Entscheidungssituation liegen die folgenden fundamentalen Gegebenheiten zugrunde:

Es existiert ein Aktionsraum A , bestehend aus allen verfügbaren Handlungsalternativen A_i :

- es existiert ein Zustandsraum H , bestehend aus allen möglichen Zuständen der Welt H_j ;
 - es existiert ein Konsequenzenraum X , bestehend aus allen möglichen Konsequenzen x , mit der Konsequenz x_k im Attribut X_k ;
- jedes Handlungs-Zustands-Paar (A_i, H_j) führt mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten zu bestimmten Konsequenzen:
- $$(A_i, H_j): = f_{ijk}(X_1, X_2, \dots, X_k, \dots);$$
- es existiert eine Präferenzrelation auf der Menge der Konsequenzen, welche eine Nutzenmessung der Konsequenzen auf Intervallskalenniveau erlaubt (siehe hierzu insbesondere 2.4).

Diese fünf Elemente definieren die jeder Entscheidungssituation zugrundeliegende Struktur.

2.2.2 Repräsentation der Entscheidungssituation in einer Entscheidungsmatrix

Im weiteren soll davon ausgegangen werden, daß jede Entscheidungssituation in ihrem wesentlichen Gehalt auf eine Entscheidungsmatrix reduziert werden kann, wengleich die Art und Weise dieser Reduktion nicht immer offensichtlich ist. Sofern eine solche Reduktion stets erreichbar ist, kann die Entscheidungsmatrix als das Grundmodell der Entscheidungstheorie angesehen werden: Entscheidungskriterien können dann einheitlich beschrieben, Entscheidungshilfen auf dieses Grundmodell bezogen werden.

Die Entscheidungsmatrix bildet allerdings nur dann den wesentlichen Gehalt einer Entscheidungssituation ab, wenn sie das Entscheidungsproblem in all seinen wichtigen Aspekten repräsentiert. Das Aufstellen der Entscheidungsmatrix setzt voraus, daß der Entscheider die relevanten Aspekte seines Handlungsfeldes und seiner Umwelt kennt. Hierzu gehören:

- Die relevanten Handlungsalternativen; nur wenn die beste Alternative enthalten ist, kann sie gewählt werden;
- die relevanten Konsequenzen als diejenigen, welche wichtig sind und gleichzeitig zwischen Handlungsalternativen differenzieren;
- die Zustände der Welt, die einen Einfluß auf das Auftreten von Konsequenzen haben; sowie

- Wissen um die speziellen Konsequenzen der einzelnen Handlungsalternativen.

Ferner muß der Entscheider über ein stabiles Präferenzsystem verfügen, welches es ihm ermöglicht,

- seine Ziele zu spezifizieren;
- Konsequenzen zu bewerten und zu vergleichen;
- Handlungsalternativen hinsichtlich der Zweckmäßigkeit zur Erfüllung der Ziele zu beurteilen und
- die beste zu wählen.

Wenngleich eine Reduzierung der Entscheidungssituation auf die Entscheidungsmatrix prinzipiell stets möglich ist, erscheint es fragwürdig, ob eine wie immer um Rationalität bemühte Person dies tatsächlich vermag. So entwickelte Simon (1957) das Konzept der beschränkten Rationalität und forderte ein Konzept rationalen Handelns, welches die menschliche Aufnahme-, Speicher- und Verarbeitungskapazität bezüglich Informationen und Wertvorstellungen wie auch deren Grenzen mit einbezieht.

Sofern Entscheidungshilfe gegeben werden soll und sofern hierfür die Entscheidungsmatrix als Grundmodell herangezogen werden soll, mag es notwendig sein, bereits bei der Aufstellung der Entscheidungsmatrix Hilfen anzubieten. Diese müssen geeignet sein, den Entscheider bei der Aufgabe der Strukturierung der Entscheidungssituation zu entlasten und ihm zu helfen, Alternativen zu generieren und die relevanten Zustände und Konsequenzen zu erkennen. Hierdurch wird von den konkreten Entscheidungsproblemen abstrahiert, Unwesentliches vernachlässigt und Wesentliches akzentuiert. Die Aufgabe der Strukturierung von Entscheidungsproblemen ist nicht zu lösen von dem konkreten Anwendungsfeld, und erst in letzter Zeit wird dieser Problematik verstärkt Bedeutung beigemessen; siehe dazu etwa Humphreys (1983), MacCrimmon und Taylor (1976) und v. Winterfeldt (1980b).

Auf die Entscheidungsmatrix wird im folgenden häufiger zurückgegriffen werden, ohne daß immer problematisiert wird, ob und wie gut eine solche definiert und ausgefüllt werden kann. Schneeweiß (1967) hat in mehreren Beispielen gezeigt, wie Entscheidungssituationen in Form einer Entscheidungsmatrix repräsentiert werden können, und zwar auch Situationen, deren Struktur zunächst nicht dafür geeignet erschien.

2.2.3 Merkmale komplexer Entscheidungssituationen

2.2.3.1 Ein Klassifikationsschema

Entscheidungshilfen sind naturgemäß vor allem bei komplexen Entscheidungen angebracht (Keeney, 1979). Komplexität kann durch verschiedene Faktoren

bedingt sein; die wichtigsten Merkmale und ihre Pole sind in Tabelle 3 genannt. Da eine Entscheidungssituation auf jedem der Faktoren zu klassifizieren ist, entsteht ein vierfaches Klassifikationsschema.

Tabelle 3 : Vierfaches Klassifikationsschema für die Komplexität einer Entscheidungssituation.

Komplexitätsmerkmal	Klassifikation der Entscheidungssituation	
	einfach	komplex
Menge der Attribute	uniattributiv	→ multiattributiv
Vorhersagbarkeit der Konsequenzen auf den Attributen	deterministisch	→ probabilistisch
zeitliche Veränderung der Konsequenzen und/oder Bewertungen	statisch	→ dynamisch
Anzahl der beteiligten Personen	individuell+ kollektiv	

Sofern auch nur eines der Merkmale als komplex einzustufen ist, kann - theoretisch wie praktisch - nicht mehr von einer einfachen Entscheidungssituation ausgegangen werden.

2.2.3.2 Zur Menge der Attribute

Entscheidungen sind einfach, wenn nur ein Attribut als Bewertungskriterium für die Handlungsalternativen zu berücksichtigen ist, z.B., weil sich Handlungsalternativen nur auf einem Attribut unterscheiden, weil nur zu einem Attribut Informationen vorliegen oder weil - und das ist selten - nur ein Attribut bewertungsrelevant ist. Zumeist unterscheiden sich Alternativen auf mehreren relevanten Attributen. Entscheidungen zwischen Alternativen, die auf mehreren relevanten Attributen variieren, sind deshalb schwierig, weil in der Regel keine der Alternativen auf allen Bewertungskriterien die besseren Werte aufweist. Vielmehr muß zumeist vom Umgekehrten ausgegangen werden: Zwischen den guten Alternativen fällt gerade deshalb eine Entscheidung schwer, weil die Alternativen auf verschiedenen Attributen über Vorzüge verfügen, so daß Abwägungen getroffen und Kompromisse gefunden werden müssen. Multiattributive Entscheidungssituationen werden deshalb auch als

Entscheidungssituationen mit „kollidierenden Zielsetzungen“ (Isermann, 1979) bzw. „conflicting objectives“ (Bell, Keeney & Raiffa, 1977) bezeichnet, und Verfahren der multiattributiven Nutzenmessung sind geeignet, die Vor- und Nachteile der einzelnen Alternativen gegeneinander abzuwägen und in einem Bewertungsmodell zu verrechnen (vgl. 2.5 und 2.6).

2.2.3.3 Zur Vorhersagbarkeit der Konsequenzen

Gemäß diesem Klassifikationsaspekt wird eine Entscheidung als einfach gekennzeichnet, wenn die verschiedenen Handlungsalternativen sicher zu bestimmten Konsequenzen führen: So ist eine Entscheidung zwischen verschiedenen festverzinslichen Papieren (sicherer Gewinn) einfach im Vergleich zu einer Entscheidung zwischen verschiedenen Aktien (unsicherer Gewinn). Die Problematik der Bewertung von Handlungsalternativen, deren Konsequenzen nicht sicher vorhersagbar sind, wird im Zusammenhang mit Investitionsentscheidungen ausführlich in der Portfolio-Theorie diskutiert (siehe z.B. Borchering, 1978; Francis & Archer, 1971; Markowitz, 1959 und Sharpe, 1970), einen verhaltenswissenschaftlichen Ansatz hierzu stellt Coombs (1975) dar. Individuelle Entscheidungen unter Unsicherheit sind Gegenstand der Abschnitte 2.6 und 2.8.

2.2.3.4 Zur Zeitdimension

Handlungsalternativen können zu verschiedenen Zeitpunkten zu unterschiedlichen Konsequenzen führen, oder aber die Bewertung der gleichen Konsequenz kann sich über die Zeit verändern.

Ein Beispiel hierfür ist die Erschließung eines Stadtteils mit öffentlichen Verkehrsmitteln, mit den Alternativen „Bau einer U-Bahn“ bzw. „kein Bau“. Wird die U-Bahn gebaut, so bedeutet dies verschiedene Bauabschnitte mit zeitabhängigen Konsequenzen: Für die Anwohner stellen sich zunächst nur die negativ zu bewertenden Konsequenzen der Großbaustelle ein, und erst viel später resultieren die möglichen positiven Konsequenzen einer guten Verkehrsverbindung. Ein solches Entscheidungsproblem, wie es sich aus der Sicht betroffener Bürger darstellt, analysierten Maurer, Aufsattler und Gerds (1982) mit Mitteln der multiattributiven Nutzenmessung.

Ein Beispiel dafür, daß ein Sachverhalt von den gleichen Personen im Verlauf der Zeit unterschiedlich bewertet werden kann, ist die Einstellung zu einem Kinderspielplatz in der unmittelbaren Nähe eines Wohnblocks: Eine Bewohnerin, deren Kinder dort spielen können, bewertet den Spielplatz wohl positiv; werden die Kinder älter und verschwindet damit der unmittelbare Vorteil für die eigene Familie, bewertet sie den Spielplatz vielleicht negativ.

Eine grundlegende Darstellung von Verfahren zur Berücksichtigung von Präferenzen und deren Veränderung über die Zeit gibt Meyer (1977) sowie Meyer (Kap. 9 in Keeney & Raiffa, 1976).

2.2.3.5 Zur Anzahl der beteiligten Personen

Individuelle Entscheidungssituationen sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, daß nur eine Person beteiligt ist und diese Person die Aufgabe hat, in Übereinstimmung mit ihren eigenen Präferenzen die für sie optimale Handlungsalternative herauszufinden. Demgegenüber spricht man von kollektiven Entscheidungssituationen, wenn mehrere Personen beteiligt sind. Eine Übersicht hierzu gibt Wendt (1980).

In bezug auf kollektive Entscheidungssituationen können zwei Fälle der Beteiligung von Personen unterschieden werden:

1. Die „Einheit“, welche die Entscheidung zu treffen hat, setzt sich aus mehreren - gleichberechtigten - Personen zusammen. Damit können verschiedene Personen ihre Interessen direkt in die Entscheidung einbringen. Die Aufgabe der Personen besteht darin, einen Konsensus zu finden und eine Entscheidung zu treffen. Eine solche Einigung kann auf verschiedene Weise erfolgen:
 - a) Über einen festgelegten Wahlmodus. Davis (1973, 1980) entwickelt hierzu ein allgemeines Modell. Ausgehend von den individuellen Präferenzen für Handlungsalternativen zeigt er, welchen Einfluß verschiedene Wahlsysteme auf die resultierende Entscheidung haben.
 - b) Als Verhandlung in Form einer Gruppendiskussion. Hierzu wurde der Einfluß verschiedener Verhandlungsarten in Abhängigkeit von den Entscheidungssituationen untersucht. Übersichten geben z.B. Dalkey (1975) oder Stasser, Kerr und Davis (1980), siehe ferner Linstone und Turoff (1975).
 - c) Über formale Modelle der Aggregation individueller Meinungen und Wertvorstellungen. Dabei kann sich die Aggregation auf Wahrscheinlichkeitsurteile (Hogarth, 1977; Schaefer, 1977; Schütt, 1981; Seaver, 1978) oder auf Nutzenurteile (Borcherding & Kistner, 1982) beziehen. Unter den zur Verfügung stehenden Modellen nimmt das von DeGroot (1974) eine gewisse Sonderstellung ein. Hier können Personen ihre individuellen Vorstellungen darüber spezifizieren, mit welchem Ausmaß die Meinungen der verschiedenen Personen bei der Entscheidung zu berücksichtigen sind, und Borcherding und Schaefer (1976) diskutieren Anwendungsmöglichkeiten. Verschiedene Aggregationsmodelle werden in Huber und Delbecq (1972) sowie Seaver (1976) dargestellt.
2. Ein Entscheider mit der formalen Entscheidungskompetenz kann bei seiner Entscheidung die Interessen verschiedener Personen bzw. Personengruppen

berücksichtigen wollen. Dieses Konzept des „Supra Decision Maker’s“ wurde von Keeney und Raiffa (1976, Kap. 10) eingeführt. Unter diesem Konzept werden Verfahrensweisen entwickelt, die einem „Obersten Entscheider“ als „Schlichtungsinstanz“ helfen, die verschiedenen individuellen Präferenzen von Personen und Personengruppen angemessen zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ist auch auf die grundlegenden Arbeiten von Arrow (1951) und Sen (1970) hinzuweisen.

Stellt man den Interessenkonflikt zwischen den Beteiligten in den Vordergrund, so führt dies zur sogenannten Spieltheorie (Crott, Scholz, Ksiensik & Popp, 1983; Jones, 1980; Luce & Raiffa, 1957; v. Neumann & Morgenstern, 1947), die eine Grundlage der Entscheidungstheorie lieferte; hierauf soll in diesem Zusammenhang jedoch nicht eingegangen werden.

2.2.4 Entscheidungshilfe als Strukturierungshilfe für komplexe Sachverhalte

Im Zusammenhang mit der systematischen Betrachtung und Analyse von Entscheidungssituationen wurden unterschiedliche Aspekte problematisiert und hiervon ausgehend Vorschläge und Verfahrensweisen entwickelt, die als Entscheidungshilfen herangezogen werden können. Dazu seien die folgenden Ansätze genannt:

- a) Die Entwicklung von Phasenablaufschemata und damit verbunden die Aufteilung einer Entscheidung in eine Vielzahl von Teilaspekten und Teilentscheidungen (siehe Frey & Ochsmann, 1977; Irlle, 1971; Schrenk, 1969).
- b) Das Ableiten von Modellen aus dem Urteilsverhalten von Entscheidern, z.B. das sogenannte „bootstrapping“ (Shepard, 1964; Slovic & Lichtenstein, 1971) oder die „social judgment theory“ von Hammond u. a., z.B. Hammond, Stewart, Brehmer und Steinmann (1975), die alle auf einem Regressionsansatz beruhen, sowie der varianzanalytische Ansatz des funktionalen Messens von Anderson u. a.; z.B. Anderson (1974a,b). Aus dem Urteilsverhalten können aber auch sequentielle oder hierarchische Modelle abgeleitet werden (Kleinmuntz & Kleinmuntz, 1981; Spitzer & Endicott, 1974).
- c) Die Annahme bestimmter struktureller Beziehungen zwischen Ausgangsbedingungen und Folgewirkungen, wobei mittels Verfahren der mathematischen Programmierung eine vorgegebene Zielfunktion optimiert werden soll (siehe hierzu Darstellungen des „Operations Research“, z.B. Neumann, 1975) oder mittels Simulation der Einfluß bestimmter Ausgangsbedingungen aufzuweisen ist (Wagner, 1975).
- d) Entscheidungstheoretisch begründete Verfahren, die den Schwerpunkt dieses Kapitels darstellen.

Der Versuch einer Klassifikation von Entscheidungshilfungsverfahren sowie weiterführende Literatur findet sich in MacCrimmon (1973).

Im folgenden werden ausschließlich entscheidungstheoretisch begründete Verfahren dargelegt, die auf dem Dekomponierungsansatz beruhen: Dabei wird das Gesamtproblem so strukturiert, daß es in einzelne Komponenten zerlegt werden kann (Dekomponierung), und diese Komponenten werden bewertet. Die Bewertungen der Komponenten werden dann über ein Modell zusammengefaßt (Rekomponierung), und schließlich wird mit Hilfe einer Entscheidungsregel eine Handlungsalternative ausgewählt.

Eines der wesentlichen Ziele dieser Vorgehensweise ist es, Entscheidungsprobleme transparent zu machen. Die grundsätzlichen Vorteile liegen darin, daß dem Entscheider geholfen wird, sein Problem so zu strukturieren, daß nur elementare Komponenten zu bewerten sind und daß die Rekomponierung durch ein formales Modell erfolgen kann. Hierdurch wird der Entscheider von der Aufgabe der Informationsverarbeitung befreit.

Bei einem solchen Vorgehen sind folgende Gesichtspunkte relevant:

- Die Aufgliederung und Strukturierung der Entscheidungssituation (s. 2.3);
- die Messung des Nutzens der Konsequenzen (dazu 2.4);
- die Bewertung der Alternativen durch Aggregation des Nutzens ihrer Konsequenzen (dazu 2.5 für den Fall sicherer und 2.6 für den Fall unsicherer Konsequenzen);
- die Erhebung und Verarbeitung von Wahrscheinlichkeiten, d. h. probabilistischer Informationen (dazu 2.7);
- die Verknüpfung zwischen der Nutzenbewertung der Alternativen und der Wahrscheinlichkeitsinformationen hinsichtlich der Zustände der Welt als den Ausgangsbedingungen (dazu 2.8).

Die darzustellenden entscheidungsanalytischen Methoden lassen sich auf sehr unterschiedliche Entscheidungsprobleme anwenden, wie abschließend (in 2.9) erörtert wird.

2.3 Strukturierung von Entscheidungssituationen

2.3.1 Ziele und Attribute

Rationales Entscheiden bedeutet, aus den zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen die optimale zu wählen. Dabei wird die Optimalität einer Handlungsalternative gleichgesetzt mit dem Ausmaß, in dem sie die subjektiven Kriterien eines Entscheiders erfüllt. Eine rationale Entscheidung setzt damit die Existenz eines Kriteriums voraus, auf das hin optimiert werden soll. Dieses Kriterium wird hier als *Ziel* bezeichnet.

In einem ersten Schritt jeder Entscheidungsanalyse sind infolgedessen die Ziele eines Entscheiders aufzudecken. Steht eine Person z.B. vor der Entscheidung, welches neue Auto sie kaufen will, so muß sie sich über ihre Anforderungen und Zielvorstellungen hinsichtlich eines Autos Klarheit verschaffen: Wie teuer darf und sollte es sein; welche Motorleistung wird erwünscht, welche ist erforderlich; welche Vorstellungen in bezug auf Innen- und Stauraum bestehen; welche monatlichen Kosten können getragen werden; wie wichtig sind gute Eigenschaften im Stadtverkehr usw. Jede dieser Anforderungen kann als ein Ziel formuliert und die Ziele können weiter in Teilziele zerlegt werden, z.B. die Motorleistung in Stärke, Elastizität, Beschleunigung und Lebensdauer.

Zur weiteren Präzisierung ist es erforderlich, die Ziele zu konkretisieren, ihnen *Attribute* zuzuordnen: Attribute stellen die Meßgrößen für Ziele dar. So kann das Ziel „geringe laufende Kosten“ z.B. über das Attribut „Betriebskosten in Pf/km“ gemessen werden. Die Attribute konkretisieren, was unter den Zielen zu verstehen ist; sie sind Operationalisierungen der Ziele. Dabei sind insbesondere solche Attribute hilfreich, die 1. ein Ziel oder Teilziel möglichst vollständig beschreiben und die 2. möglichst eindeutig meßbar sind. Zur vollständigen Beschreibung eines Zieles gehört, daß ein Entscheider aus dem Wissen über einen spezifischen Wert auf einem Attribut zugleich ableiten kann, in welchem Ausmaß damit das entsprechende Ziel erreicht ist. Zur eindeutigen Meßbarkeit gehört, daß die verschiedenen Alternativen hinsichtlich des gerade betrachteten Attributes möglichst eindeutig durch eine Zahl quantifiziert werden können.

2.3.2 Zielhierarchien

Ziele stellen sich häufig in Form von Hierarchien dar: Es gibt übergeordnete Haupt- und untergeordnete Teilziele. Solche Zielsysteme lassen sich auf verschiedene Weisen entwickeln. So kann man von einem Globalziel ausgehen und dieses immer weiter in Teilziele aufgliedern. Will beispielsweise ein Institut den besten Mikroprozessor anschaffen, den es zur Zeit auf dem Markt gibt, so kann man zwar feststellen, daß es „den“ besten nicht gibt, wohl aber denjenigen, welcher den Erfordernissen am Institut in höchstem Maße entgegenkommt. Diese Erfordernisse sind als Teilziele und damit als Spezifikation des Gesamtzieles zu erarbeiten. Ein Teilziel kann z.B. in der „Anwenderfreundlichkeit“ liegen, und was das heißt, ist in weiteren Teilzielen zu spezifizieren. Alternativ hierzu kann man die Zielhierarchie entwickeln, indem man von den verschiedenen Handlungsalternativen ausgeht und feststellt, wodurch sich diese unterscheiden, ob diese Aspekte entscheidungsrelevant sind und, falls ja, welche Zielvorstellung jedem einzelnen relevanten Aspekt zugrunde liegt.

Grundlage für die Generierung einer Zielhierarchie sollte stets eine Befragung des Entscheiders sein.

2.3.2.1 Aufbau einer Zielhierarchie

Das Gesamtziel in einer Entscheidungssituation ist häufig sehr allgemein gehalten, so daß es erforderlich ist, dieses durch Hauptziele zu spezifizieren, die wiederum durch Teilziele präzisiert werden können etc., d. h., es entsteht eine hierarchische Struktur, ein „Zielbaum“. Abbildung 2 stellt eine hierarchische Zielstruktur in allgemeiner Form dar. Ergänzend und zur Kontrolle ist es vielfach sinnvoll, die Vorgehensweise umzukehren und entsprechend sehr spezielle Unterziele zu formulieren, für die man dann prüft, ob sie sinnvoll unter Oberbegriffen zusammenzufassen sind. So ist man einigermäßen sicher, alle relevanten Aspekte erfaßt zu haben.

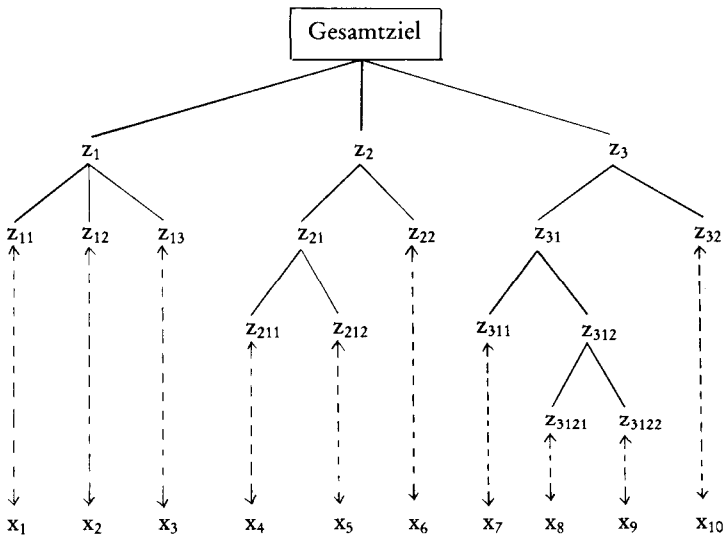


Abb. 2: Schema einer Zielhierarchie (z) und Zuordnung zu Attributen (x)

Ist die Zielhierarchie aufgestellt, sind für alle Endpunkte Attribute anzugeben; damit werden die Meßgrößen für die Teilziele festgelegt.

2.3.2.2 Angemessenheit einer Zielhierarchie

Bei der Erstellung einer Zielhierarchie ist zu prüfen, wie weit eine Aufgliederung von Zielen in weitere und immer speziellere Teilziele vorgenommen werden soll und ob die jeweils untergeordneten Ziele in ihrer Gesamtheit das übergeordnete Ziel vollständig erfassen.

Geht man in einer Zielhierarchie von unten nach oben, so ist mit dem Gesamtziel ein Endpunkt gegeben; geht man hingegen von oben nach unten, so ist kein Endpunkt gegeben, der Baum kann sich in immer feineren Verästelungen verlieren. Der Vorteil von feineren Teilzielen liegt darin, daß diese in der Regel präziser und über Attribute eindeutiger meßbar sind, die Handlungsalternativen auf ihnen also leichter zu beurteilen sind. Mit der Aufsplitterung in zu viele Teilziele ist aber die Gefahr verbunden, daß der Beitrag eines einzelnen Teilziels sehr gering wird und für sich allein zu vernachlässigen zu sein scheint. Darüber hinaus geht leicht der Blick für das Wesentliche verloren.

Es ist nicht möglich, für ein Entscheidungsproblem *die* Zielhierarchie zu konstruieren - es sind immer mehrere möglich. Deshalb sollte man bei der Entwicklung von Zielhierarchien folgende Prinzipien berücksichtigen: 1. Die einzelnen Ziele sollten der Denkweise des Entscheiders weitgehend entsprechen, seine Sicht der Dinge zum Ausdruck bringen und 2. den Teilzielen sollten auf sinnvolle Art und Weise Attribute zuzuordnen sein.

Die Erstellung einer Zielstruktur ist offenbar ein folgenreicher Schritt bei der Entscheidungsanalyse, denn alle weiteren Schritte bauen hierauf auf. Gemessen daran fand dieses Problem in der entscheidungstheoretischen Forschung wenig Beachtung. Mit der Aufstellung individueller Ziele beschäftigen sich Humphreys und Wisudha (1981; siehe 2.3.4) und entwickeln hierzu ein interaktives Computerprogramm. Wie wichtig eine angemessene Strukturierung ist, zeigten Fischhoff, Slovic und Lichtenstein (1978). Sie stellen - allerdings am Beispiel von Fehlerbäumen - fest, daß feiner aufgegliederte Aspekte in ihrer Bedeutung überschätzt wurden und daß Urteiler, denen eine Struktur vorgegeben war, in unzureichendem Maße sensitiv hinsichtlich fehlender Aspekte waren; beides galt für Laien sowie für Experten. Man kann allerdings nicht durchgehend davon ausgehen, daß die Strukturierung das Bewertungsergebnis und damit die Entscheidung stark beeinflußt. So fanden Aschenbrenner (1977a) am Beispiel von Studentenwohnungen und Humphreys und Humphreys (1975) am Beispiel von Filmen, daß der Einfluß verschiedener Zielstrukturen auf die resultierende Entscheidung begrenzt war.

In einer Arbeit von Jungermann, v. Ulardt und Hausmann (1983) wird der Funktion von Zielen für die Generierung von Handlungsalternativen am Beispiel von Urlaubsreisen nachgegangen. Die Autoren fanden, daß die Anzahl und die Qualität der generierten Urlaubsreisen zunahm, je stärker die Ziele spezifiziert waren, und im Hinblick auf bestimmte Ziele engagierte Personen schienen weniger Urlaubspläne zu entwickeln und diese anschließend höher zu bewerten. Die Auseinandersetzung mit Zielen scheint dazu zu führen, Handlungsalternativen stärker im Hinblick auf die eigenen Bedürfnisse zu generieren und, wie Aschenbrenner-, Jaus und Villani (1980) zeigten, planvoller bei der Suche nach Alternativen vorzugehen.

2.3.3 Zielstrukturierung und Wahl der Attribute

Wie schon gesagt, sind den einzelnen Teilzielen einer Zielstruktur auf unterster Ebene Attribute zuzuordnen. Auf diesen Attributen werden die Handlungsalternativen gemessen und entsprechend dem Ausmaß, in dem zugeordnete Ziele erfüllt werden, bewertet. Da Zielstrukturen nicht eindeutig bzw. zwingend sind, verschiedene Zielstrukturen insbesondere auch zu unterschiedlichen Attributen führen können, kann man aus entscheidungstheoretischer Perspektive überlegen, ob verschiedene Mengen von Attributen in unterschiedlichem Ausmaß geeignet sind, Handlungsalternativen in ihren Konsequenzen zu beschreiben und als Bewertungsgrundlage der Alternativen zu dienen. Im Sinne einer entscheidungstheoretischen Metabetrachtung - auch der Entscheidungsanalytiker hat Präferenzen bei der Entwicklung einer Zielstruktur - ist dies die Frage nach der Zielstruktur des Entscheidungsanalytikers hinsichtlich formaler Eigenschaften von Attributen.

In Anlehnung an Keeney und Raiffa (1976, Kap. 2) seien folgende wünschenswerte Eigenschaften von Attributen genannt: Vollständig, zweckmäßig, dekomponierbar, nicht redundant, reliabel und minimal. Eine grundlegende Anforderung an die Attributmenge ist, daß sie *vollständig* ist: Quantifizierungen der Handlungsalternativen auf diesen Attributen sollen eine Bewertung der Alternativen determinieren. Sofern dies erfüllt ist, sind die bewertungsrelevanten Aspekte hinreichend erfaßt. Attribute sind *zweckmäßig*, wenn der Entscheider eine klare Vorstellung mit ihnen verbindet, d.h., wenn sie seiner Problemrepräsentation entsprechen. Die Zweckmäßigkeit beinhaltet darüber hinaus, daß die Attribute geeignet sind, um mit anderen Personen über die Güte von Alternativen zu kommunizieren - dies ist insbesondere bei Entscheidungen mit öffentlichem Interesse wichtig. Die Dekomponierbarkeit steht in engem Zusammenhang mit der Nutzenmessung. Hiernach sind Attribute *dekomponierbar*, wenn die Gesamtbewertung der Alternativen aus den Bewertungen zu disjunkten Teilmengen von Attributen zusammensetzbar sind. Ferner soll die Attributenmenge *nicht redundant* sein, d.h., die einzelnen Attribute sollen verschiedene Bewertungsaspekte erfassen. Ist diese Bedingung unzureichend erfüllt, werden bestimmte Aspekte überlappend erfaßt und damit überrepräsentiert. Selbstverständlich wünscht man sich mit den Attributen Meßgrößen, die insbesondere objektiv und *reliabel* sind: Die Quantifizierung von Alternativen auf Attributen soll allein von Eigenschaften der Alternativen und nicht zusätzlich von anderen Faktoren bestimmt werden. Schließlich soll die Menge der Attribute *minimal* sein, d.h., es ist zu versuchen, die kleinstmögliche Anzahl von Attributen aufzustellen, welche gleichzeitig die zuvor genannten Anforderungen hinreichend erfüllt.

2.3.4 Ein Beispiel zur Explikation einer Zielstruktur

Die Strukturierung einer Entscheidungssituation ist der erste und nach Humphreys und McFadden (1980) häufig der wichtigste Teil der Entscheidungshilfe. Dabei steht die Strukturierung hinsichtlich der Ziele im Vordergrund. So wurden programmierte interaktive Verfahren entwickelt, die dazu dienen, Zielstrukturen des Entscheiders offenzulegen, so etwa von Keeney und Sichertmann (1976), Pearl, Leal und Saleh (1980), Weiss (1980) sowie das von Humphreys und Wisudha (1981) entwickelte MAUD-Programm, auf das im folgenden näher eingegangen werden soll.

Das interaktive Computer-Programm MAUD (von multi attribute utility decomposition) ist für die Strukturierung, Dekomponierung und Rekomponierung von Präferenzen zwischen multiattributiven Alternativen entwickelt worden. Der Benutzer tritt mit seinem Entscheidungsproblem in unmittelbare Interaktion mit MAUD, welches ihm durch Fragen und gezielte Präsentation von Aufgaben hilft, die für den Vergleich der Alternativen relevanten Dimensionen herauszufinden. Ausgehend von den verschiedenen vorliegenden oder möglichen Handlungsalternativen werden die zugrundeliegenden Ziele ermittelt.

Das Entscheidungsproblem eines Benutzers sei beispielsweise, welchen Beruf er wählen soll. MAUD fordert den Benutzer auf, die in Frage kommenden Alternativen einzugeben. Ausgehend von diesen Berufsangaben präsentiert MAUD dem Benutzer Triaden von Handlungsalternativen (Berufen) entsprechend der Repertory-Grid-Methode, die auf Kelly (1955) aufbaut und bei Collet (1979), Fransella und Bannister (1977) und Humphreys und Humphreys (1975) beschrieben wird. Eine solche Triade könnte aus der Vorgabe der folgenden drei Berufe bestehen:

Elektriker
 Operateur
 Gärtner

Für jede solche Triade wird vom Benutzer verlangt, Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen den Alternativen anzugeben und die auftretenden Differenzen in ihren Polen zu benennen. Konkret muß er für jeweils drei vorgegebene Berufe sagen, welcher eine sich von den beiden anderen stärker unterscheidet und worin dieser Unterschied besteht. Gibt der Benutzer an, daß Elektriker und Operateur ähnliche Berufe seien und der Beruf Gärtner sich von diesen unterscheidet, so ist der Unterschied

Elektriker }
 Operateur } ≠ Gärtner

aufgedeckt. Wird dieser Unterschied vom Benutzer darin gesehen, daß sowohl Elektriker als auch Operateur, nicht aber Gärtner, ein technischer Beruf sei, so ist eine erste Dimension gefunden: Der Benutzer unterscheidet Berufe danach, ob sie technisch oder nicht-technisch sind. Es sei vermerkt, daß andere Entscheider bei gleichen Berufen sowohl andere Unterschiede hätten aufdecken können als auch den oben angegebenen Unterschied in einer anderen Dimension begründet sehen mögen, z.B. Arbeit in geschlossenen Räumen versus im Freien. Durch die Vorgabe weiterer Triaden können weitere Dimensionen erzeugt werden. Nach zwei Triaden kann der Benutzer darüber hinaus relevante Dimensionen entsprechend der Methode der Gegensätze (Epting, Suchman & Nickeson, 1971) direkt benennen. Zusätzlich ist es ihm jederzeit möglich, Veränderungen z.B. in der Benennung von Dimensionen nachträglich vorzunehmen.

Ist die Menge der Dimensionen spezifiziert und fallen dem Benutzer keine weiteren mehr ein, muß 1. pro Dimension der ideale Wert angegeben werden und müssen 2. alle Berufe auf allen Dimensionen eingestuft werden. Z. B. mag der Benutzer auf der Dimension „technisch versus nicht-technisch“ seinen Idealwert und die Einstufungen verschiedener Berufe wie in Abbildung 3 abgegeben haben. Hiernach findet der Benutzer einen Beruf ideal, der überwiegend aber nicht ausschließlich technisch ist, und Berufe werden auf diesem Attribut in Abhängigkeit von der Nähe zum idealen Wert bewertet. Um zu einer Skala zu kommen, die kontinuierlich im Hinblick auf die Güte einer Bewertung ist, wird die „Unfolding-Technik“ von Coombs (1950, 1964) angewendet.

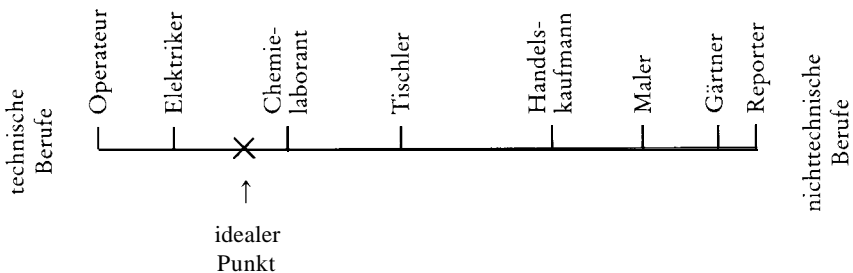


Abb. 3: Einstufung von Berufen im Attribut „Technikbezug“ und Festlegung des „idealen Punktes“

Die Wirkungsweise dieser Technik kann man sich folgendermaßen veranschaulichen: Man stellt sich die Skala in Abbildung 3 als eine dehnbare Schnur vor, auf der die Positionen der einzelnen Berufe als Knoten markiert sind. Faßt man diese Schnur am idealen Punkt an und zieht sie hoch, so hat man eine neue Skala mit dem idealen Punkt als höchstem Wert definiert; Berufe - ursprünglich

rechts und links vom idealen Punkt - liegen jetzt gemeinsam darunter. Sorgt man durch Dehnungen der Schnur dafür, daß der einem Beruf entsprechende Knoten dann höher als ein anderer liegt, wenn dieser Beruf den idealen Vorstellungen auf dieser Dimension in stärkerem Maße entspricht, so hat man aus der ursprünglichen „J-Skala“ mit dem idealen Punkt zwischen den Polen die „I-Skala“ definiert: Die „I-Skala“ steht in einer monotonen Beziehung zu der Höhe der Bewertung auf dem jeweiligen Attribut, hier „Technikbezug“, und wird so skaliert, daß die auf diesem Attribut am wenigsten präferierte Alternative (tiefster Knoten) den Wert Null, die am meisten präferierte (höchster Knoten) den Wert Eins erhält. Für die anderen Dimensionen wird entsprechend verfahren, und es resultieren die verschiedenen jeweils monoton mit der Bewertung verknüpften Skalen.

Da das Verfahren MAUD bei der Extraktion der Dimensionen bereits auf die Erfüllung der bedingten Nutzenunabhängigkeit achtet (vergl. dazu 2.5.4), werden Attribute erzeugt, für welche die Bedingung der Präferenzunabhängigkeit weitgehend erfüllt ist. Als Folge davon ist die Entscheidungssituation dekomponierbar und die Gesamtbewertung der Alternativen kann aus den Teilbewertungen in den verschiedenen Attributen rekonstruiert werden.

Mit der Spezifikation der Attribute ist die Phase der Zielstrukturierung abgeschlossen; auf die in MAUD eingebauten Verfahren zur Überprüfung der Dekomponierbarkeit und der anschließenden Rekonstruierbarkeit soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Hinsichtlich der Strukturierung von Entscheidungssituationen steht die Zielstrukturierung häufig im Vordergrund, aber auch andere Teile des Entscheidungsproblems können bzw. müssen strukturiert werden, wie z.B. die Sequenz von Teilentscheidungen in Entscheidungsbäumen, die Vorgehensweise bei der Informationssuche hinsichtlich der Konsequenzen von Alternativen und deren Auftretungswahrscheinlichkeiten, usw.; siehe hierzu die Darstellung in Brown und Ulvila (1977), Jungermann (1980) und v. Winterfeldt (1980).

Eine Zielstruktur kann im Hinblick darauf, inwieweit mit ihrer Hilfe Verhalten erklärt bzw. vorhergesagt werden kann, überprüft werden. So stellten Beach, Campbell und Townes (1979) fest, daß die Entscheidung, ein (weiteres) Kind haben zu wollen, und deren Verwirklichung innerhalb von 2 Jahren, gut mittels der von ihnen entwickelten Zielstruktur vorhergesagt werden konnte. Am Beispiel der Entscheidung für oder gegen einen Schwangerschaftsabbruch beschreiben Jungermann, Franke und Schneider (1982) die Entwicklung einer entsprechenden Zielstruktur, die darauf basierende Befragung des Betroffenen, und die Verwendung der Antworten in tatsächlichen Beratungssituationen als Entscheidungshilfe.

Die systematische Entwicklung von Zielstrukturen und deren Anwendung in konkreten Entscheidungsproblemen - insbesondere als Grundlage einer Ent-

Scheidungsberatung - hilft offensichtlich, die Abwägungen zwischen Handlungsalternativen gezielter an den Vorstellungen des Entscheiders auszurichten und damit die Entscheidung selbst wie die vorangehenden Bewertungsvorgänge effizienter zu machen.

2.4 Die Erhebung des Nutzens von Konsequenzen

Kernstück einer entscheidungstheoretisch orientierten Analyse und Bewertung von Handlungsalternativen ist die Erhebung des Nutzens, der den Konsequenzen von Alternativen zugeschrieben wird. Dabei wird im folgenden zunächst nur der eindimensionale Fall betrachtet, bei dem Alternativen nur hinsichtlich eines Attributs variieren. Bei den entwickelten Verfahren muß berücksichtigt werden, ob die Konsequenzen sicher oder nur mit Wahrscheinlichkeiten auftreten. Entsprechend wird zwischen der risikolosen und der risikobehafteten Nutzenmessung unterschieden.

2.4.1 Problemstellung

Nutzen ist kein objektiver Sachverhalt, der durch Anlegen eines Maßstabs unmittelbar abzulesen wäre, sondern individuell definiert und - wie etwa Schönheit oder Klugheit - inhärent subjektiver Natur. Somit ist Nutzen ein theoretisches Konstrukt, das über Präferenzwahlen - auch als Bevorzugungen bezeichnet - definiert ist und aus ihnen abgeleitet werden kann. Hiernach kommt einem Beurteilungsobjekt im Vergleich zu einem anderen dann ein höherer Nutzen zu, wenn es dem anderen gegenüber bevorzugt wird. Gegenstand einer entsprechenden Meßtheorie ist es, die Bedingungen anzugeben, unter denen eine numerische Skala existiert, welche die beobachteten Präferenzen repräsentiert. Genügen die Präferenzen einer Person diesen Bedingungen, so sind sie meßbar, und über Verfahren der Skalierung wird eine Zuordnung von Zahlen zu Objekten hergestellt. Es resultiert die Nutzenmessung.

2.4.2 Meßtheoretische Hinweise zur Nutzenmessung

Objekte, Personen, Alternativen etc. haben Eigenschaften, Eigenschaften haben Ausprägungen, und auf Grund dieser Ausprägungen von Eigenschaften können Objekte aufeinander bezogen werden. Messen bedeutet, Objekten Zahlen in der Weise zuzuordnen, daß die Beziehungen zwischen den empirischen Sachverhalten repräsentiert werden in numerischen Relationen, die auf der Menge der Zahlen definiert sind. Mit dieser Problematik beschäftigt sich die axiomatisch begründete Meßtheorie; siehe Coombs, Dawes und Tversky (1970), Krantz, Luce, Suppes und Tversky (1971) sowie Orth (1974). Drei Problembereiche sind dabei wesentlich:

1. Das Repräsentationsproblem. Hier werden die notwendigen und hinreichenden Bedingungen (auch Axiome) für die Meßbarkeit von Eigenschaften aufgestellt. Dies ist zunächst ein Problem formaler Theorienbildung. Bei Gültigkeit der Axiome ist eine Eigenschaft meßbar. Es ist zu prüfen, ob die empirisch beobachteten Relationen (hier Präferenzen) zwischen Objekten hinsichtlich einer Eigenschaft den Axiomen der Meßtheorie genügen und damit die Eigenschaft meßbar ist: Hiermit wird geklärt, ob eine Abbildung des empirischen Relativ in ein numerisches Relativ existiert.
2. Das Eindeutigkeitsproblem. Ist eine Eigenschaft meßbar, wird mit der Behandlung des Eindeutigkeitsproblems geklärt, wieviel Freiraum in der Zuordnung von Zahlen gegeben ist, und damit auch das Skalenniveau der Messung bestimmt.
3. Das Bedeutsamkeitsproblem. Ist eine Eigenschaft auf einem bestimmten Skalenniveau meßbar, so besteht das Bedeutsamkeitsproblem in der Frage, welche Relationen zwischen den Messungen sinnvoll zu interpretieren sind. Nach Suppes und Zinnes (1963) sind Aussagen über Meßwerte dann bedeutsam, wenn sie unter allen möglichen - in der Lösung des Eindeutigkeitsproblems spezifizierten - zulässigen Skalentransformationen unverändert gelten.

Da zunächst außer dem subjektiven Urteil kein Maßstab vorliegt, der die Güte von Alternativen „mißt“, ist zu prüfen, welche subjektiven Urteile erforderlich sind und welchen Bedingungen sie genügen müssen, um zu einer Nutzenskala zu führen.

Grundlage einer Nutzenmessung ist, daß die individuellen Präferenzurteile der Bedingung der sogenannten „schwachen Ordnung“ genügen, und hierzu gehören die Verbundenheit (Konnexität) und die Transitivität. Im Sinne der Verbundenheit ist zu fordern, daß alle Alternativen hinsichtlich des mit ihnen verbundenen Nutzens miteinander verglichen werden können und entweder A gegenüber B oder B gegenüber A zumindest schwach bevorzugt wird. Die Transitivitätsbedingung fordert, daß, wenn A gegenüber B und B gegenüber C bevorzugt wird, dann auch A gegenüber C bevorzugt werden muß.

Für die Messung der Güte von Alternativen ist die Erfüllung der schwachen Ordnung in bezug auf zwei zu beurteilende Sachverhalte notwendig:

1. im Hinblick auf eine Ordnung der Alternativen selbst und
2. im Hinblick auf eine Ordnung von Unterschieden zwischen jeweils zwei Alternativen.

Der erste Sachverhalt bezieht sich auf den direkten Vergleich von jeweils zwei Alternativen und führt zu einer Nutzenmessung auf Ordinalskalenniveau. Der zweite Sachverhalt bezieht sich auf einen Vergleich von jeweils zwei Paaren von Alternativen. Stellt man den Nutzenunterschied zwischen jeweils zwei Alternativen in den Vordergrund, also den zwischen den Alternativen A und B sowie

den zwischen C und D, so sind Urteile darüber abzugeben, ob der Unterschied zwischen A und B größer ist als der zwischen C und D oder ob der zwischen C und D größer ist als der zwischen A und B. Erfüllen diese Vergleiche die Bedingung der schwachen Ordnung, so kann von der Existenz einer zugrundeliegenden Nutzenskala auf Intervallskalenniveau ausgegangen werden, und aus den vorliegenden Paarvergleichen kann eine Skala konstruiert werden, die den Konsequenzen Nutzenwerte zuordnet.

2.4.3 Direkte und indirekte Verfahren der Nutzenmessung bei sicheren Konsequenzen

Entscheidungsalternativen werden entsprechend der sie charakterisierenden Ausprägungen von wünschenswerten Eigenschaften bewertet, wobei hier nur solche Alternativen betrachtet werden sollen, die sicher zu ganz bestimmten Konsequenzen führen. Die Nutzenmessung der verschiedenen Konsequenzen von Alternativen kann über ein meßtheoretisch fundiertes indirektes oder über ein direktes Verfahren erfolgen. Indirekte Verfahren basieren auf der Beobachtung von Präferenzen im Paarvergleich, wobei eine große Anzahl von Paarvergleichen notwendig ist, bevor der Nutzen der verschiedenen Konsequenzen daraus hinreichend genau bestimmbar ist. Eine direkte Nutzenmessung stellt eine Person vor die Aufgabe, gemäß spezifizierender Instruktionen den Nutzen von Konsequenzen direkt als Zahl anzugeben. Dabei wird über die Instruktion eine bestimmte Skalenqualität gefordert, und erreicht wird diese nur unter der Voraussetzung, daß die Person in unverfälschter und konsistenter Weise gemäß Instruktion verfährt.

Vergleicht man die indirekten und direkten Verfahren der Nutzenmessung oder der-später in 2.7 zu behandelnden-Wahrscheinlichkeitsmessungen, so spricht theoretisch vieles für die indirekten Methoden:

- 1) Sie sind axiomatisch begründet, ihre Angemessenheit kann empirisch überprüft werden;
- 2) es werden von den Personen nur ordinale Urteile über Objekt-Paare verlangt, welche der Differenzierungsfähigkeit der Personen eher angemessen sind als Urteile auf einer Skala höheren Niveaus und
- 3) der aus Präferenzen abgeleitete Nutzen ist potentiell ein validerer Indikator für die tatsächliche Güte von Alternativen als der explizit verbalisierte Nutzen.

Praktisch spricht allerdings alles für die Verwendung direkter Methoden:

- 1) Die Daten sind einfacher und ökonomischer zu erheben und
- 2) Vergleichsstudien haben gute Übereinstimmungen zwischen direkten und indirekten Verfahren gezeigt, wie Wallsten (1977) zusammenfassend darstellt.

Für eine ausführlichere Diskussion hierzu siehe Lee (1977).

Eine einfache und in diesem Zusammenhang häufig verwendete Methode der direkten Nutzenmessung besteht in folgendem Vorgehen. Die verschiedenen Konsequenzen werden vorgegeben mit der Aufgabe, die schlechteste und die beste herauszusuchen; die schlechteste erhält per definitionem den Wert 0, die beste den Wert 100. Anschließend wird jeder anderen Konsequenz ein entsprechender Wert im Intervall von 0 bis 100 zugewiesen. Verfahren dieser Art sind leicht verständlich und bereiten im allgemeinen keine Schwierigkeiten bei der Erhebung. Umfassende Darstellungen verschiedener Skalierungsmethoden geben Dawes (1972), Nunally (1978), Sixtl (1981) und Torgerson (1958), spezielle Methoden der Nutzenmessung werden in Kneppreth, Gustafson, Leifer und Johnson (1974) dargestellt.

2.4.4 Nutzenmessung unter Berücksichtigung von Unsicherheit

Weitaus schwieriger stellt sich eine Bewertung der Alternativen dar, wenn die resultierenden Konsequenzen nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden können; jede Alternative führt dann mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten zu den betrachteten Konsequenzen, d.h., die Alternativen unterscheiden sich in den speziellen Auftretenswahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Konsequenzen. Abbildung 4 veranschaulicht eine solche Situation.

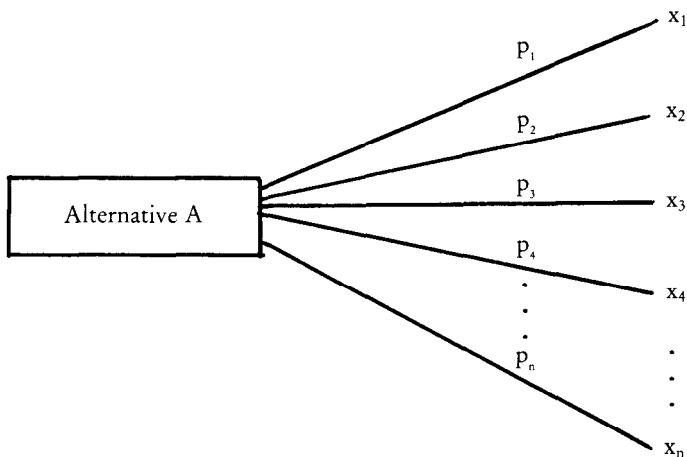


Abb. 4: Schema für eine Alternative mit unsicheren Konsequenzen

Ausgehend von dieser Situation entwickelten v. Neumann und Morgenstern (1947) eine axiomatisch begründete Nutzentheorie als Rationale für konsistentes Verhalten, deren Grundüberlegungen im folgenden wiedergegeben werden.

Andere Axiomatisierungen finden sich bei Fishburn (1970), Luce und Raiffa (1957), Pratt, Raiffa und Schlaifer (1965) und Savage (1954). Eine formalisierte Gegenüberstellung verschiedener Axiomatisierungen gibt Fishburn (1981).

Gilt für jede Alternative, daß zwar mehrere Konsequenzen möglich sind, aber nur eine Konsequenz auftreten kann, und bezeichnet man die überhaupt schlechteste Konsequenz als x_* , die beste als x^* , so werden Entscheider vor Wahlsituationen entsprechend Abbildung 5 gestellt. Der Entscheider hat die Wahl zwischen zwei hypothetischen Alternativen. Die Alternative 1 führt sicher zu einer mittelguten Konsequenz x_i . Die Alternative 2 demgegenüber führt mit einer Wahrscheinlichkeit g_i zur besten, mit der Restwahrscheinlichkeit $1-g_i$ zur schlechtesten Konsequenz. In solchen Entscheidungssituationen wird ein Entscheider um so eher die probabilistische Alternative 2 wählen, je höher die Wahrscheinlichkeit g_i für den guten Ausgang ist, und gleichzeitig wird er um so eher die sichere Alternative wählen, je höher er den sicheren Ausgang x_i bewertet. Entscheidungssituationen dieser Art werden als „choice-dilemma“-Situationen bezeichnet (vgl. Kogan & Wallach, 1964; Six, 1981).

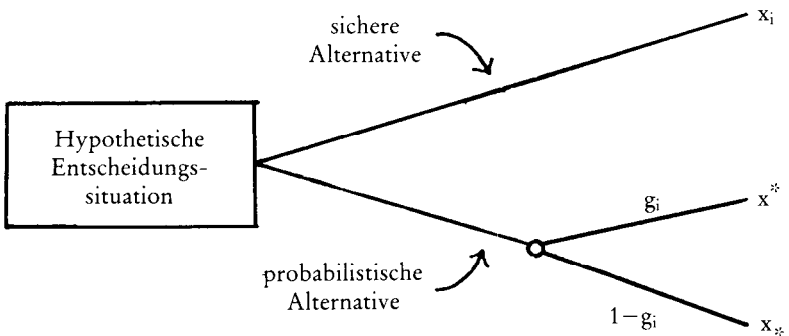


Abb. 5: Hypothetische Entscheidungssituation zwischen zwei Alternativen

Im folgenden soll von fest vorgegebenen Konsequenzen ausgegangen und g_i so gewählt werden, daß der Entscheider die beiden Alternativen als gleich gut bewertet und damit Indifferenz hergestellt ist: Präferiert der Entscheider Alternative 2 (bzw. Alternative 1), wird die Wahrscheinlichkeit g_i verkleinert (bzw. vergrößert). Hierdurch nähert sich die Attraktivität der Alternative 2 der von Alternative 1 an. Offenbar kann für jede spezielle Konsequenz x_i eine Wahrscheinlichkeit g_i so gefunden werden, daß Indifferenz gilt. Diese Indifferenz ist eindeutig mit dem Meßwertpaar (x_i, g_i) spezifiziert. Das Verfahren zur Herstellung der Indifferenz wird auch als Basic-Reference-Lottery-Ticket-Methode bezeichnet (BRLT-Methode, siehe Raiffa, 1968).

Zwei Meßwertpaare haben einen besonderen Stellenwert: für $x_i = x^*$ resultiert eine Indifferenzwahrscheinlichkeit von $g_i = 1.0$ und für $x_i = x_*$ eine von $g_i = 0$. Durch Vorgabe verschiedener Konsequenzen x_i mit $x_* \leq x_i \leq x^*$ resultieren die Indifferenzwahrscheinlichkeiten g_i mit $0 \leq g_i \leq 1$. Werden die Meßwertpaare (x_i, g_i) in ein Koordinatensystem eingetragen, resultiert die Nutzenfunktion; Abbildung 6 zeigt eine solche.

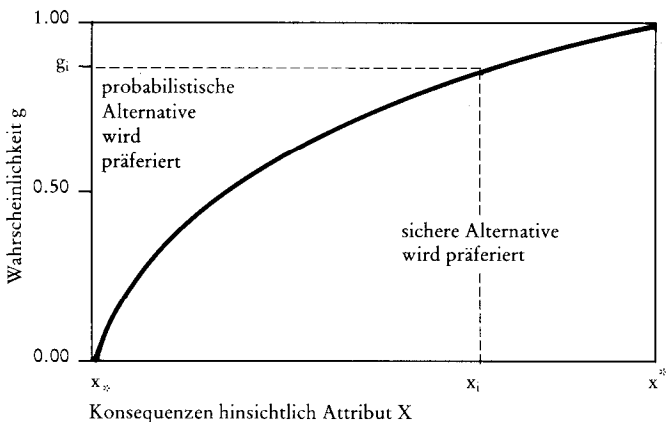


Abb. 6 : Beispiel einer risikoaversiven Nutzenfunktion

In Choice-Dilemma-Situationen wird ein Entscheider die sichere Alternative wählen, wenn das diese Situation charakterisierende Meßwertpaar (x_i, g_i) unterhalb seiner Nutzenfunktion liegt, und die probabilistische Option wählen, falls es oberhalb liegt.

Mit der Nutzenfunktion ist eine Zuordnung zwischen jeweils einer sicheren und einer probabilistischen Alternative so spezifiziert, daß der Entscheider indifferent zwischen beiden ist. Ausgehend von dieser Indifferenz können die verschiedenen Konsequenzen jeweils durch die zugeordneten probabilistischen Alternativen ersetzt werden: Aus der in Abbildung 4 dargestellten Alternative A wird die in Abbildung 7 dargestellte Alternative B, bei der nur noch zwei verschiedene Konsequenzen, nämlich die beste und die schlechteste, eintreten können. Wird eine Größe G wie folgt definiert:

$$G = p_1 g_1 + p_2 g_2 + \dots + p_n g_n = \sum_{i=1}^n p_i g_i,$$

so läßt sich die in Abbildung 7 dargestellte Alternative B zusammenfassen, und es resultiert Alternative C, die mit einer Wahrscheinlichkeit von G zur besten (x^*) und mit der Restwahrscheinlichkeit $(1-G)$ zur schlechtesten Konsequenz (x_*) führt. Bei Gültigkeit bestimmter - im allgemeinen plausibler - Axiome ist

der Entscheider indifferent zwischen den Alternativen A, B und C in den Abbildungen 4 und 7. Insbesondere ist der Entscheider also indifferent zwischen Alternative A mit ihren verschiedenen möglichen Konsequenzen x_i und der hypothetischen Alternative C mit nur zwei möglichen Konsequenzen. Somit ist die Höhe der Wahrscheinlichkeit G ein Maß für die Güte der Alternative A, und dieses Maß berücksichtigt die Unsicherheit von Alternative A hinsichtlich des Eintretens der verschiedenen Konsequenzen. G ist somit der unter Unsicherheit gemessene Nutzen der Alternativen A und entspricht dem Erwartungswert der Nutzenfunktion. D. h. : Für Alternativen, die nicht sicher, sondern nur mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten zu bestimmten Konsequenzen führen, ergibt sich in Abhängigkeit davon, ob Konsequenzen diskret oder kontinuierlich sind, die folgende Bewertung:

$$U(A) = G = \sum_i p_i g_i \quad \text{falls } X \text{ diskret und}$$

$$U(A) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) g(x) dx \quad \text{falls } X \text{ kontinuierlich ist.}$$

Der Nutzen einer Alternative wird hier als der Erwartungswert der mit den einzelnen Konsequenzen verbundenen Nutzenwerten bestimmt. Eine solche

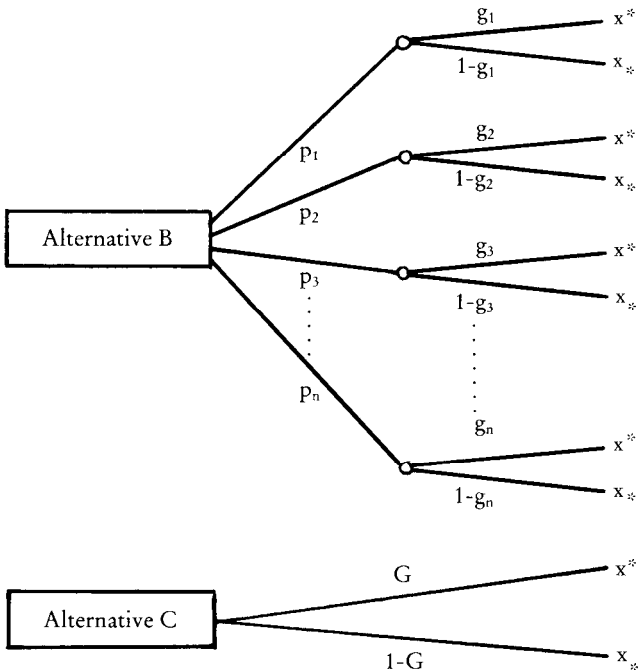


Abb. 7: Schema einer Alternative mit Teilwahrscheinlichkeiten für beste und schlechteste Konsequenzen

Bewertung entspricht dem SEU-Modell (von „subjective expected utility model“) und hat sich in vielen Situationen als brauchbar erwiesen und empirisch bestätigt. Für eine umfassende Diskussion siehe Karmarkar (1978), Schoemaker (1980, 1981) und Shapiro (1979).

Zur Bestimmung des Nutzens von Alternativen ist es hiernach erforderlich, die Nutzenfunktion des Entscheiders zu erheben sowie die Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln, mit denen die jeweiligen Alternativen zu den verschiedenen Konsequenzen führen. Konkrete Vorgehensweisen werden ausführlich von Keeney dargestellt (z.B. 1972; 1977; Keeney & Raiffa, 1976), für den computerunterstützten Aufbau von Nutzenfunktionen siehe Heuberger (1977).

Der Entscheider kann in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation die sie charakterisierende Unsicherheit selbst wiederum unterschiedlich bewerten. So läßt sich die Teilnahme an Glücksspielen nur über die Existenz sog. „risikofreudiger“ Nutzenfunktionen erklären. Handelt es sich hingegen um essentielle Entscheidungen, ist überwiegend von der Gültigkeit risikoaversiver Nutzenfunktionen auszugehen. Eine solche ist in der obigen Abbildung 6 dargestellt. Die Charakterisierung der Nutzenfunktion als risikoaversiv, risikoneutral bzw. risikofreudig ist aus der Krümmung der Nutzenfunktion zu ersehen; sie ist an einem bestimmten Punkt der Funktion als der „Risikoaversionsfaktor“ $r(x) = -u'(x)/u''(x)$ definiert, mit $r(x) > 0$ als risikoaversiv, $r(x) = 0$ als risikoneutral und $r(x) < 0$ als risikofreudig. Der Risikoaversionsfaktor spezifiziert, in welchem Ausmaß die Bewertung von Alternativen von der Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenzen abhängt. Bewertungen von Alternativen sind dann strategisch äquivalent, wenn die zugrundeliegenden Nutzenfunktionen den gleichen Risikoaversionsfaktor aufweisen; siehe hierzu Pratt (1964) sowie die umfassende Darstellung in Keeney und Raiffa (1976, Kap. 4).

2.4.5 Überlegungen zum Einsatz der Methoden

Abschließend sollen die Überlegungen dieses Abschnittes auf die Zielrichtungen der Entscheidungsanalyse und deren Anwendung als Entscheidungshilfungsverfahren bezogen werden. Aufgabe war hier zunächst, Verfahren der Bewertung solcher Alternativen darzustellen, die zu Konsequenzen auf nur einem Attribut führen. Zu diesem Zweck liegen ausgefeilte, meßtheoretisch fundierte Verfahren vor, wie sie in 2.4.2 und 2.4.4 beschrieben wurden. Allerdings kann es nicht nur um die Erfüllung meßtheoretischer Kriterien gehen, sondern es ist ebenso abzuwägen, inwieweit die theoretisch überlegenen Methoden sich auch im praktischen Einsatz bewähren und insbesondere, ob sie zu valideren Bewertungen der zu vergleichenden Alternativen führen. Für die hier dargestellten Verfahren der Nutzenmessung ergeben sich folgende Überlegungen für

die Anwendung (weitere und ausführlichere Erörterungen geben z.B. Farquhar, 1982; Fishburn, 1967; Hull, Moore & Thomas, 1973; siehe aber auch Hershey, Kunreuther & Shoemaker, 1982).

Treten die mit den Alternativen verbundenen Konsequenzen sicher auf, bieten sich die folgenden beiden Klassen von Vorgehensweisen an:

- 1) Die verschiedenen Konsequenzen bzw. Differenzen von Konsequenzen sind paarweise miteinander zu vergleichen. Diese Paarvergleiche bilden die Grundlage für die Konstruktion einer Nutzenskala sowie die Zuweisung von Nutzenwerten zu Konsequenzen.
- 2) Den verschiedenen Konsequenzen werden entsprechend ihrer Güte unmittelbar Zahlen zugeordnet.

Der gravierende Nachteil von Vorgehen (1) gegenüber (2) liegt in der Anzahl der erforderlichen Vergleiche, die exponential mit der Anzahl der verschiedenen Konsequenzen ansteigt. Auch die Möglichkeit planmäßiger Reduzierung der notwendigen Vergleiche vermag dieses Argument kaum abzuschwächen. Von daher ist es naheliegend, daß bei konkreten Entscheidungsproblemen die Bewertung der verschiedenen Konsequenzen pro Attribut zumeist über eine direkte Methode erfolgt, welche durch ihre Zielgerichtetheit ausgezeichnet sind. Dennoch darf nicht übersehen werden, daß die direkten Methoden meßtheoretisch nicht begründbar sind und ihre Legitimation nur aus der hohen Korrespondenz zu den Ergebnissen aus indirekten Methoden herleiten.

Treten die mit Alternativen verbundenen Konsequenzen nicht sicher ein, resultieren ebenfalls zwei Vorgehensweisen:

- 3) Die verschiedenen Konsequenzen werden über die BRLT-Methode nutzenskaliert, und die Bewertungen für die Alternativen ergeben sich als der Erwartungswert der Nutzenfunktionen.
- 4) Die Konsequenzen werden über ein direktes Verfahren entsprechend (2) nutzenskaliert. Anschließend wird pro Alternative der mit den Auftretenswahrscheinlichkeiten gewogene Erwartungswert berechnet.

Ähnlich wie bei (1) und (2) liegen die Nachteile der Verfahrensweise (4) gegenüber (3) in der mangelnden meßtheoretischen Fundiertheit und darin, daß die Einstellung des Entscheiders zum Risiko nicht explizit berücksichtigt wird. Vorteile der Methode (4) gegenüber (3) können mit Edwards (1977a, S.327) darin gesehen werden, daß keine Urteile hinsichtlich hypothetischer Alternativen erforderlich sind: Solche Urteile seien häufig unreliabel und inkonsistent mit den zugrundeliegenden eigentlichen Präferenzen. Darüber hinaus betont Edwards, daß solche Vorgehensweisen nonprofessionelle Entscheider langweilen und unter Umständen zu Antworten führen können, die in stärkerer Weise aus der Sequenz der Vorgabe als aus den tatsächlichen Präferenzen des Entscheiders resultieren, ja möglicherweise zur Ablehnung der Entscheidungsverfahren insgesamt führen.

Wie der Nutzen von Konsequenzen gemessen wird, bedarf in jedem Fall einer sorgfältigen Abwägung (Johnson & Huber, 1977). Während Keeney auch bei Alternativen mit sicheren Konsequenzen zur Nutzenmessung neigt, welche die Einstellung zum Risiko berücksichtigt mit dem Argument, daß dieses ungleich schwierigere Verfahren den Entscheider zum Nachdenken zwingt und als Folge angemessenere Bewertungen resultieren, ist Edwards ein Vertreter der Gegenposition: Selbst bei Alternativen mit unsicheren Konsequenzen zieht er Verfahren der direkten Zuweisung von Zahlen zu Konsequenzen vor, da diese Verfahren leichter verständlich, leichter durchzuführen und damit für den Entscheider transparenter sind.

Eine Diskrepanz zwischen der Nutzenmessung mit und der ohne Berücksichtigung von Risiko tritt nur auf, wenn die Nutzenfunktion des Entscheiders stark von der Risikoneutralität abweicht. Hierzu sei auf Howard (1971) verwiesen, welcher die Sensitivität der Verfahren untersucht und prüft, wann Risikoaversion zum Tragen kommt. Wie man ausgehend von Nutzenmessungen ohne Berücksichtigung der Einstellung zu Risiko diese Einstellung nachträglich einbeziehen kann, wird in v. Winterfeldt, Barron und Fischer (1980) erörtert.

Abschließend sei empfohlen, bei der Abwägung zwischen verschiedenen Methoden der Nutzenmessung nicht nur an formale entscheidungstheoretische Erfordernisse zu denken, sondern auch zu berücksichtigen, welche Denkweisen dem Entscheider vertraut sind; darüber hinaus ist wichtig, mögliche auftretende Fehler bzw. Unstimmigkeiten nicht für sich allein, sondern in ihrer Auswirkung auf die Entscheidung zu bewerten, d.h., es geht darum, inwieweit entscheidungsanalytische Verfahren anfällig für solche Fehler sind. Hat man dies vor Augen, werden häufig Verfahren gemäß (2) statt solcher von (1) und Verfahren gemäß (4) statt solcher von (3) hinreichend sein.

2.5 Die Bewertung multiattributiver Alternativen im Fall sicherer Konsequenzen

Im folgenden werden Entscheidungssituationen betrachtet, in denen Alternativen zu Konsequenzen auf verschiedenen bewertungsrelevanten Dimensionen führen. Dabei wird zunächst von Alternativen ausgegangen, deren Konsequenzen sicher auftreten. Es werden Verfahren dargestellt, die eine Gesamtbewertung der Alternativen aus der Verknüpfung der Bewertungen der einzelnen Konsequenzen herleiten und damit zu einer Entscheidungsfindung führen.

2.5.1 Relevante Sachverhalte und Benennungskonventionen

Entscheidungsalternativen heißen multiattributiv, wenn sie zu Konsequenzen in mehreren verschiedenen Bewertungskriterien (auch Aspekten, Dimensio-

nen) führen - im folgenden Attribute genannt. Attribute werden üblicherweise durch die großen Buchstaben $X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_n$ (auch X, Y, Z) gekennzeichnet, Konsequenzen in Attributen durch die entsprechenden kleinen Buchstaben $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n$.

Eine Alternative A_i mit Konsequenzen in n Attributen kann über einen Vektor dargestellt werden:

$$A_i: (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{in}),$$

wobei x_{ik} die Konsequenz der Alternativen A_i im Attribut X_k darstellt. Der Nutzen einer Alternative A_i wird mit $U(A_i)$, der Nutzen einer Konsequenz x_k mit $u(x_k)$ bezeichnet.

Im folgenden soll unter dem Begriff „Nutzen“ die Güte von Alternativen bzw. von Konsequenzen unabhängig davon verstanden werden, ob dieser Nutzen ‚risikolos‘, d.h. ohne Berücksichtigung der möglichen Unsicherheit über das Eintreten von Konsequenzen (auch „value“, „utile“, „Wert“), oder unter Berücksichtigung von Risiko verstanden und erhoben wird.

Liegen multiattributive Alternativen vor, ist es naheliegend, die verschiedenen Alternativen anhand der Konsequenzen in bewertungsrelevanten Attributen zu vergleichen sowie Überlegungen zur Relevanz oder Wichtigkeit der herangezogenen Attribute anzustellen, und beides bei der Entscheidung zu berücksichtigen. Die im folgenden dargelegten Konzepte gehen von dieser Überlegung aus.

2.5.2 Entscheidungskriterien bei Sicherheit

Entscheidungskriterien sind Richtlinien, nach denen der Entscheider wählt. Dabei wird gelegentlich zwischen Entscheidungsregeln und Entscheidungsprinzipien unterschieden. Entscheidungsregeln bestimmen für jedes Entscheidungsproblem die optimale Handlungsalternative und lösen damit das Entscheidungsproblem. Entscheidungsprinzipien schränken die Willkür in der Auswahl der optimalen Aktion ein, ohne jedoch eine bestimmte Alternative definitiv als beste zu identifizieren.

Eine andere Differenzierung der Entscheidungskriterien kann danach erfolgen, ob es sich um Auswahlfunktionen oder um Präferenzvorschriften handelt. Auswahlfunktionen bestimmen aus der Gesamtmenge von Alternativen den Bereich, in dem die optimale Alternative zu suchen ist. Welche spezielle Auswahlfunktion eine Person für sich in Anspruch nimmt, ist ihr selbst überlassen. Häufiger verwendet werden hingegen Entscheidungskriterien, die aus Präferenzrelationen resultieren: Sie geben für jeweils zwei Handlungsalternativen an, welche von ihnen der jeweils anderen vorzuziehen ist. Entsprechend

der oben eingeführten Unterscheidung legt eine Entscheidungsregel die Auswahlfunktion bzw. Präferenzvorschrift fest, während ein Entscheidungsprinzip den Bereich möglicher Auswahlfunktionen mehr oder weniger stark beschränkt bzw. im Fall von Präferenzvorschriften mehrere zuläßt.

Für den Fall multiattributiver Alternativen werden in der Literatur verschiedene deskriptive Entscheidungskriterien diskutiert. Einige davon seien hier aufgeführt, wobei die Darstellung in Anlehnung an Montgomery und Svenson (1976) davon ausgeht, welches Skalenniveau bei der Nutzenmessung auf den Attributen sowie der Abwägung zwischen den Attributen gefordert wird.

Zu den Entscheidungskriterien, die pro Attribut von einer Nutzenmessung auf Ordinalskalenniveau ausgehen und keine Abwägung zwischen den verschiedenen Attributen erfordern, gehört das Dominanzprinzip sowie das konjunktive und das disjunktive Entscheidungsprinzip.

(a) *Dominanzprinzip*. Eine Alternative A_i ist einer Alternativen A_j dann vorzuziehen, wenn sie auf keinem Attribut schlechter und auf zumindest einem Attribut besser bewertet wird als diese, d.h.:

$$A_i > A_j \text{ genau dann, wenn: } u(x_{ik}) \geq u(x_{jk}) \text{ für alle } k, \text{ und} \\ u(x_{ik}) > u(x_{jk}) \text{ für mindestens ein } k.$$

A_j ist die von A_i dominierte Alternative bzw. A_i dominiert A_j . Dieses Entscheidungsprinzip ist unmittelbar einleuchtend und ermöglicht es, die Menge der Handlungsalternativen auf die Menge der nicht-dominierten Alternativen zu reduzieren; es trennt aber naturgemäß nicht zwischen den nicht-dominierten.

(b) *Konjunktives Entscheidungsprinzip*. Der Entscheider muß für jedes Attribut einen Kriteriumswert bestimmen. Alternativen sind wählbar, wenn sie auf jedem Attribut den Kriteriumswert mindestens erreichen. Ist $C = (c_1, \dots, c_k, \dots, c_n)$ der Kriteriumsvektor, so gilt:

$$\text{Eliminiere } A_i, \text{ wenn: } u(x_{ik}) < u(c_k) \text{ für mindestens ein } k.$$

In Abhängigkeit von der Höhe der Kriteriumswerte und der Güte der Alternativen führt das konjunktive Entscheidungsprinzip zum Ausschluß unterschiedlich großer Teilmengen und kann insbesondere auch alle Alternativen ausschließen. Die diesem Prinzip zugrundeliegenden Überlegungen führen auf das Befriedigungsprinzip von Simon (1957) zurück.

(c) *Disjunktives Entscheidungsprinzip*. Das disjunktive Entscheidungsprinzip entspricht dem Spiegelbild des konjunktiven Entscheidungsprinzips: Es werden pro Attribut Kriteriumswerte festgesetzt, und eine Alternative ist wählbar, sofern sie den Kriteriumswert auf mindestens einem Attribut überschreitet. Ist

der Kriteriumsvektor wie zuvor definiert, so gilt:

Wähle A_i , wenn: $u(x_{ik}) > u(c_k)$ für mindestens ein k .

Dieses Kriterium kann gleichfalls von mehreren oder keiner der zur Verfügung stehenden Alternativen erfüllt werden.

Das konjunktive sowie das disjunktive Entscheidungsprinzip führen zu wählbaren Alternativen, die Mindestanforderungen auf allen Attributen bzw. Höchstforderungen auf mindestens einem Attribut erfüllen; sie wurden von Coombs (1964) sowie Dawes (1964) vorgeschlagen, von Coombs und Kao (1975) axiomatisiert, und Einhorn (1970, 1971) zeigte, daß Entscheidungen von Personen mit diesen Regeln erklärt werden können.

Zu den Entscheidungskriterien, die pro Attribut gleichfalls nur von einer Nutzenmessung auf Ordinalskalenniveau ausgehen, die zusätzlich aber eine Rangordnung hinsichtlich der Wichtigkeit der verschiedenen Attribute erfordern, gehören die lexikographische Entscheidungsregel sowie das aspektweise Eliminieren.

(d) *Lexikographische Entscheidungsregel.* Diese Regel schreibt eine Auswahl der Alternativen in Reihenfolge der Wichtigkeit der Attribute vor. Die Alternativen werden zunächst auf dem wichtigsten Attribut verglichen, und es wird die auf diesem Attribut beste gewählt. Zeigen mehrere Alternativen diese Eigenschaft, werden sie auf dem zweitwichtigsten Attribut verglichen und entsprechend wird weiterverfahren, bis eine Alternative übrig bleibt:

$$A_i > A_j \text{ genau dann, wenn: } u(x_{ik}) > u(x_{jk}) \text{ und} \\ u(x_{ik'}) = u(x_{jk'}) \text{ für alle Attribute } k' \text{ wichti-} \\ \text{ger als } k.$$

Einen Überblick über diese und verwandte Regeln gibt Fishburn (1974).

(e) *Aspektweises Eliminieren.* Dieses Entscheidungsprinzip stammt von Tversky (1972) und ist eine Kombination zwischen dem konjunktiven Prinzip und der lexikographischen Regel. Der Entscheider setzt Kriterien auf den Attributen und eliminiert in Reihenfolge der Wichtigkeit der Attribute diejenigen Alternativen, welche das Kriterium nicht erfüllen: Für Alternativen, die das Kriterium auf dem wichtigsten Attribut erfüllen, wird geprüft, ob sie das Kriterium des nächst-wichtigsten Attributs erfüllen, usw.

Es gilt also:

$$A_i > A_j \text{ genau dann, wenn: } u(x_{ik}) \geq u(c_k) \geq u(x_{jk}) \text{ und} \\ u(x_{ik'}) \geq u(c_{k'}) \text{ sowie} \\ u(x_{jk'}) \geq u(c_{k'}) \text{ für alle Attribute } k' \text{ wichti-} \\ \text{ger als } k.$$

Die lexikographische Komponente in diesem Entscheidungsprinzip kommt um so stärker zum Tragen, je höher Kriteriumswerte auf wichtigen Attributen sind; Konsequenzen der Alternativen auf weniger wichtigen Attributen sind dann nicht mehr entscheidungsrelevant.

Liegt der Nutzen der Alternativen pro Attribut auf Intervallskalenniveau vor und sind den Attributen Ränge hinsichtlich der Wichtigkeit zugeteilt, so sind die Voraussetzungen gegeben, unter denen die lexikographische Halbordnung definiert ist.

(f) *Lexikographische Halbordnung*. Dieses Kriterium wurde ebenfalls von Tversky (1969) entwickelt. Es entspricht der lexikographischen Regel mit der zusätzlichen Vorschrift, daß Ausprägungsunterschiede auf einem Attribut nur dann entscheidungsrelevant sind, wenn sie einen kritischen Betrag überschreiten. Bezeichnet der Vektor $D = (d_1, \dots, d_k, \dots, d_n)$ die vom Entscheider pro Attribut definierten kritischen Beträge, so gilt für 2 Alternativen:

$$A_i > A_j \text{ genau dann, wenn: } u(x_{ik}) > u(x_{jk}) + d_k \text{ und} \\ |u(x_{ik'}) - u(x_{jk'})| < d_{k'} \text{ für alle Attribute } k' \\ \text{wichtiger als } k.$$

Die lexikographische Halbordnung ist eine Erweiterung der lexikographischen Regel und bietet den Vorteil, daß nicht beliebig kleine Unterschiede auf wichtigen Attributen die Entscheidung bestimmen und infolgedessen mögliche große Unterschiede auf nächstwichtigen Attributen überschreiben. Sie kann insbesondere dann angezeigt sein, wenn die Nutzenmessung auf den wichtigen Attributen nicht reliabel ist oder wenn mehrere Attribute nahezu gleich wichtig sind. Beim paarweisen Vergleich von Alternativen kann sie zu intransitiven Präferenzen führen, und als Folge können dominierte Alternativen gewählt werden. Dies soll mit dem Beispiel in Tabelle 4 veranschaulicht werden.

Tabelle 4 : Demonstrationsbeispiel für eine Anwendung der lexikographischen Halbordnung als Entscheidungsregel mit $d_k = 1.5$ für alle k

Alternative	Attribute nach Wichtigkeit			Wahlen
	X_1	X_2	X_3	
A_1	$U(x_{11}) = 10$	$U(x_{12}) = 8$	$U(x_{13}) = 8$	$\left. \begin{array}{l} \left. \left. \right\} A_2 \right\} A_3 \right\} A_4$
A_2	$U(x_{21}) = 9$	$U(x_{22}) = 7$	$U(x_{23}) = 10$	
A_3	$U(x_{31}) = 8$	$U(x_{32}) = 9$	$U(x_{33}) = 7$	
A_4	$U(x_{41}) = 10$	$U(x_{42}) = 6$	$U(x_{43}) = 6$	

Obwohl Alternative A_4 von A_1 dominiert wird, führt der paarweise Vergleich $((A_1A_2)A_3)A_4$ bei der Anwendung der lexikographischen Halbordnung zur Wahl von A_4 als der besten Alternative.

Dieser Nachteil tritt beim simultanen Vergleich der Alternativen nicht auf: In einem ersten Schritt würden alle Alternativen eliminiert, die sich auf dem wichtigsten Attribut um mehr als d_1 von der besten Alternative unterscheiden, und die verbleibenden würden entsprechend auf dem nächstwichtigsten Attribut verglichen. Dieses Vorgehen, angewandt auf das Beispiel in Tabelle 4, eliminiert auf Attribut X_1 Alternative A_3 , auf Attribut X_2 dann A_4 , auf Attribut X_3 schließlich $A_1:A_2$ würde gewählt. Tversky (1969) und Montgomery (1977) zeigten empirisch, daß Entscheidungen von Personen in komplexen Situationen mit dem Kriterium der lexikographischen Halbordnung korrespondieren.

Liegt die Nutzenmessung von Alternativen pro Attribut als Intervallskala vor und ist die Wichtigkeit von Attributen verhältnisskaliert, so können Unterschiede auf verschiedenen Attributen in ihrer Bedeutung miteinander verglichen und aufeinander bezogen werden. Damit sind die Voraussetzungen für die Anwendung von Entscheidungsregeln geschaffen, welche über kompensatorische Eigenschaften verfügen: Ein geringer Nutzen auf einem Teil der Attribute kann bei kompensatorischen Entscheidungsregeln durch einen hohen Nutzen auf anderen Attributen ausgeglichen - kompensiert - werden.

(g) *Additive Entscheidungsregel.* Die additive Entscheidungsregel schreibt als Entscheidungsgrundlage die Summe der bewerteten Konsequenzen auf den verschiedenen Attributen vor, wobei die Attribute entsprechend ihrer Wichtigkeit berücksichtigt werden. Ist w_k das Gewicht von Attribut X_k , so gilt:

$$A_i > A_j \text{ genau dann, wenn: } \sum_k w_k u(x_{ik}) > \sum_k w_k u(x_{jk})$$

Von den kompensatorischen Entscheidungsregeln ist dieses die einfachste, die gut mit tatsächlichem Entscheidungsverhalten korrespondiert, siehe die in 2.1.2 hierzu genannte Literatur.

Ähnlich und unter bestimmten Bedingungen äquivalent zur additiven Regel ist die additive Differenzenregel von Tversky (1969), wonach Alternativen attributweise miteinander verglichen und die sich ergebenden Differenzen aufsummiert werden.

(h) *Multiplikative Entscheidungsregel.* Hier wird als Entscheidungsgrundlage das gewogene geometrische Mittel vorgeschrieben, und es resultiert die multiplikative Entscheidungsregel:

$$A_i > A_j \text{ genau dann, wenn: } \prod_k u(x_{ik})^{w_k} > \prod_k u(x_{jk})^{w_k}$$

Die multiplikative Entscheidungsregel läßt sich bei einer logarithmischen Transformation der Bewertungen auf den Attributen in die additive Entscheidungsregel überführen.

Wenn hier Entscheidungskriterien orientiert am Meßniveau dargestellt wurden, so deswegen, weil Eigenschaften der Alternativen bei der Entscheidungsfindung um so differenzierter berücksichtigt werden können, je höher das Meßniveau ist. Steht der Prozeßcharakter von Entscheidungsproblemen im Vordergrund, so lassen sich Entscheidungskriterien auch danach klassifizieren, welche Strategie der Informationssuche und Informationsverarbeitung sie nahelegen. So wird zwischen inter- und intradimensionalen Strategien unterschieden in Abhängigkeit davon, ob Informationen alternativenweise oder attributweise gesucht und verarbeitet werden. Ein zusätzlicher Klassifikationsgesichtspunkt von Entscheidungskriterien betrifft die Orientierung des Entscheidenden. Diese kann rein pragmatisch auf die aktuell verfügbaren Alternativen gerichtet sein mit dem Ziel, deren relativ beste zu identifizieren. Hingegen liegt bei der konjunktiven und disjunktiven Entscheidungsregel eher eine absolute Perspektive vor: Es können bestimmte kritische Werte unabhängig von den konkreten Alternativen gesetzt werden, die von wählbaren Alternativen erfüllt werden müssen.

Die dargelegten Entscheidungskriterien stellen wichtige Ansätze zur Beurteilung und Selektion von multiattributiven Handlungsalternativen dar, weitere werden in Montgomery und Svenson (1976) genannt; siehe auch Aschenbrenner (1977b) und Svenson (1979). Die deskriptive und/oder präskriptive Validität der einzelnen Kriterien ist in konkreten Entscheidungssituationen und für bestimmte Entscheider zu prüfen: Unter der deskriptiven Betrachtungsweise interessiert, inwieweit sie tatsächliches Entscheidungsverhalten abbilden; unter der präskriptiven Perspektive steht im Vordergrund, inwieweit sie die für einen Entscheider optimale Alternative auswählen bzw. nicht optimale ausscheiden. Wenngleich diese Entscheidungskriterien - einzeln oder auch miteinander kombiniert-tatsächlich von Entscheidern angewendet werden, so sind sie doch nur in dem Maße angemessen, wie sie dessen Präferenzstruktur reflektieren. Darauf wird deshalb im folgenden eingegangen.

2.5.3 Multiattributive Präferenzen und ihre Repräsentation

2.5.3.1 Ausgangspunkt

Entscheidungskriterien beinhalten Vorschriften der Selektion von Entscheidungsalternativen. In welchem Ausmaß diese Vorschriften sinnvoll sind, hängt davon ab, ob die verbleibenden Alternativen gegenüber den auszuschließenden von dem Entscheidenden tatsächlich präferiert werden. Deshalb sollen in diesem Abschnitt die Präferenzen eines Entscheiders analysiert und Axiome

aufgestellt werden, unter denen bestimmte Entscheidungskriterien die Präferenzen eines Entscheiders repräsentieren und damit „rationale“ Verfahren der Bewertung und Selektion von Alternativen darstellen.

Das Entscheidungsproblem im Hinblick auf multiattributive Alternativen liegt darin, daß jede Alternative zu einer Vielzahl von Konsequenzen führt. Diese Konsequenzen sind zwar unterschiedlich wünschenswert, aber nicht direkt miteinander zu vergleichen: Sie liegen in verschiedenen Attributen und werden entsprechend auf unterschiedlichen Skalen gemessen. Das allgemeine Problem des Entscheiders liegt darin, die Alternative mit den insgesamt besten Konsequenzen zu wählen, und dies erfordert, Konsequenzen vergleichbar zu machen.

2.5.3.2 Effiziente Mengen von Alternativen und effiziente Grenzen

Jede Alternative ist durch die ihr zugeordneten Konsequenzen in den verschiedenen Attributen als Punkt in einem n-dimensionalen Raum darstellbar, wobei die Dimensionen den verschiedenen Attributen entsprechen. Sofern für die Punkte in dem n-dimensionalen Attributenraum eine Präferenzordnung festgelegt ist, kann die Alternative mit der höchsten Präferenz gewählt werden.

Der prinzipielle Sachverhalt kann am zweidimensionalen Fall demonstriert werden, bei dem Alternativen im Hinblick auf die beiden Attribute X und Y bewertet werden. Dabei soll gelten, daß höhere Werte gegenüber tieferen vorgezogen werden. Ist eine Alternative A_i entsprechend Abbildung 8 gegeben, so dominiert sie alle möglichen Alternativen im Bereich (E), da diese entweder durch tieferliegende und damit schlechtere Konsequenzen auf Attribut X und/oder auf Attribut Y ausgewiesen sind. Demgegenüber wird A_i von allen Alternativen im Bereich (D) dominiert, da diese entweder auf Attribut X und/oder auf Attribut Y zu bevorzugten Konsequenzen führen. D.h. für jede Person gilt:

$$\text{Alternativen im Bereich (D)} \supseteq A_i \supseteq \text{Alternativen im Bereich (E)}$$

Die Abbildung der Alternativen in den hier zweidimensionalen Attributenraum führt im diskreten Fall zu einer Menge von Punkten bzw. im kontinuierlichen Fall zu einer Fläche, wie es für beispielhafte Alternativenmengen in Abbildung 9 dargestellt ist. Die effiziente Menge von Alternativen bezeichnet die nicht dominierten Alternativen und enthält somit für jeden Entscheider die optimale Alternative: Welche ein Entscheider konkret wählt, hängt von seinen persönlichen Präferenzen ab. Abbildung 9 gibt die effizienten Grenzen (stark markierte Linie bzw. Punkte) für drei Beispiele von Alternativenmengen. Nichtdominierte Alternativen liegen immer auf der konvexen Hülle, was analog auch für den mehrdimensionalen Fall gilt.

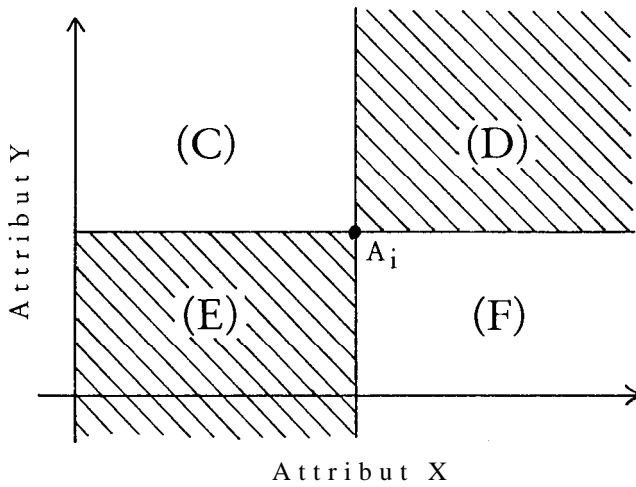


Abb. 8: Darstellung einer Alternative im zweidimensionalen Attributenraum

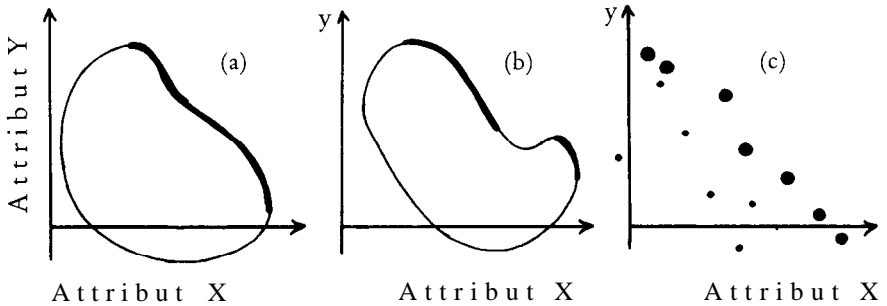


Abb. 9: Effiziente Grenzen für drei Mengen von Alternativen im zweidimensionalen Attributenraum

2.5.3.3 Präferenz und Indifferenz

Präferenzen, die sich aus dem Dominanzprinzip in Übereinstimmung zu Abbildung 8 ergeben, gelten allgemein und damit für jeden Entscheider. Interessiert man sich für Präferenzen in den Bereichen (C) und (F), so lassen sich für einen speziellen Entscheider alle Alternativen bestimmen, die dieser als ebensogut beurteilt wie A_i : Zwischen diesen Alternativen wäre dieser Entschei-

der indifferent. Ein Entscheider ist zwischen einer Alternative im Vergleich zu einer anderen dann indifferent, wenn sie auf einem Attribut zu einer besser bewerteten, auf dem anderen Attribut zu einer schlechter bewerteten Konsequenz führt und sich die relative Verbesserung mit der relativen Verschlechterung aufwiegt. Dieses Abwägen von relativen Vor- und Nachteilen wird als „tradeoff“ bezeichnet. Sofern (wie in Abbildung 10) ein Entscheider zwischen Alternative A_i und A_j indifferent ist, gilt:

$$\begin{aligned} U(A_i) &= U(A_j) && \text{oder} \\ U(x_i, y_i) &= U(x_j, y_j) && \text{oder} \\ U(\Delta x) &= U(\Delta y) \end{aligned}$$

Ausgehend von dem Punkt $P(x_j, y_i)$ wiegt für diesen Entscheider eine Verbesserung um Δx genausoviel wie eine Verbesserung um Δy .

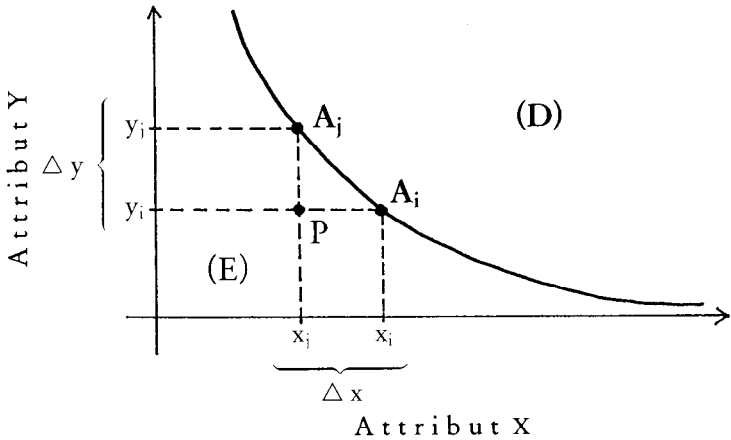


Abb. 10: Beispiel zur Indifferenz zwischen den Alternativen A_i und A_j .

Die in Abbildung 10 angegebene Indifferenzkurve spezifiziere die Menge aller Alternativen, zwischen denen ein Entscheider indifferent sein mag. Aus der Indifferenzkurve kann auf Präferenzen rückgeschlossen werden: Der Entscheider bevorzugt jede Alternative im Bereich (D) gegenüber einer auf der Indifferenzkurve, die ihrerseits gegenüber einer im Bereich (E) bevorzugt wird.

Hat der Entscheider in dem mehrdimensionalen Attributenraum eine ganze Schar von Indifferenzkurven spezifiziert - siehe Abbildung 11 als Beispiel für den zweidimensionalen Fall -, so resultieren hieraus seine Präferenzen: Die verfügbaren Alternativen können über die ihnen zugeordneten Konsequenzen auf den Attributen in diesen Raum projiziert werden, und es ist die Alternative zu wählen, die auf der am weitesten oben rechts liegenden Indifferenzkurve liegt. Es schließt sich die Frage an, wie Indifferenzen und die daraus ableitbaren Präferenzen effizient erhoben werden können.

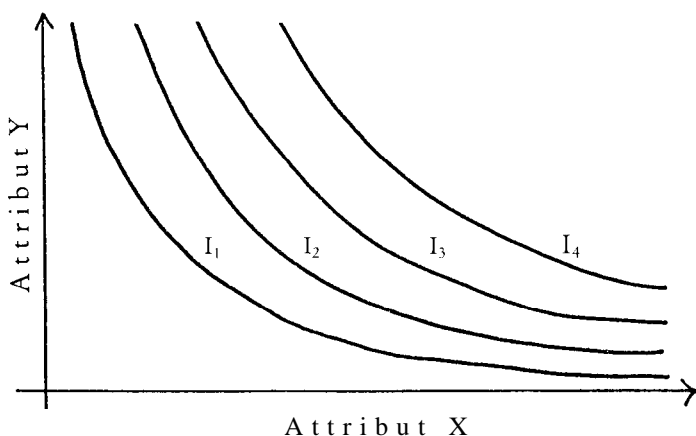


Abb. 11: Indifferenzkurven mit abnehmenden Grenznutzen für zwei Attribute.

2.5.4 Präferenzstruktur und Wertfunktion

Entscheidungen sind einfach - so wurde argumentiert - wenn der Entscheider Indifferenzkurven - auch Isonutzenkurven - im n -dimensionalen Attributenraum spezifiziert hat, da hieraus Präferenzen unmittelbar ableitbar sind. Im folgenden sollen *strukturelle* Beziehungen hinsichtlich der mehrdimensionalen Indifferenzen definiert werden, bei deren Gültigkeit sich Präferenzen einfach repräsentieren lassen.

2.5.4.1 Substitutionsraten

Wie zuvor soll weiter vom zweidimensionalen Fall ausgegangen werden, und Alternativen seien durch Konsequenzen in den Attributen X und Y charakteri-

siert. Von einer Alternative A_i mit den konkreten Konsequenzen (x_i, y_i) ausgehend, kann man einen Entscheider vor eine Situation der folgenden Art stellen: Eine Alternative A_j realisiere im Attribut Y eine um Δy Einheiten besser bewertete Konsequenz als A_i . Wieviel schlechter darf die Konsequenz dieser Alternative im Attribut X sein, so daß der Entscheider beide als gleich gut bewertet? Fragen dieser Art geben Aufschluß über die häufig auch als Tradeoffs bezeichneten Substitutionsraten, d.h. über die Beträge in den beiden Attributen, die sich gegenseitig ausgleichen. Substitutionsraten können sowohl von den Ausgangswerten in X als auch von denen in Y abhängen. Abbildung 12 veranschaulicht Substitutionsraten. Betrachtet man die Alternative A_3 , so wird eine Verbesserung um Δy im Attribut Y durch die Verschlechterung um Δx im Attribut X ausgeglichen.

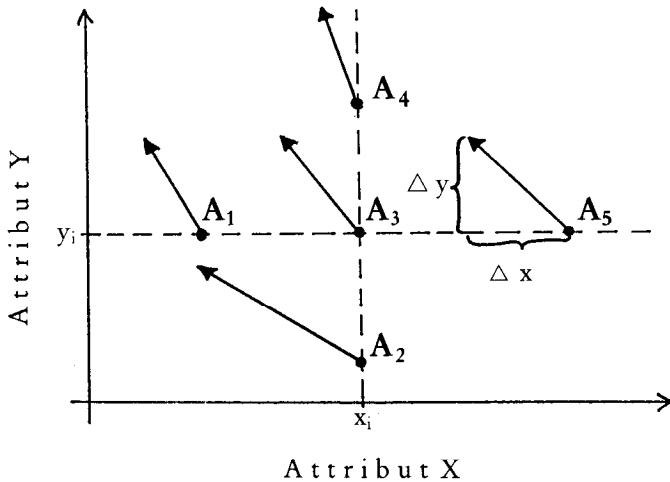


Abb. 12: Substitutionsrate im zweidimensionalen Attributenraum.

In der überwiegenden Zahl der Fälle werden Substitutionsraten, wie in Abbildung 12 dargestellt, beobachtet. Alle Substitutionsraten in diesem Beispiel wurden bei verschiedenen Ausgangswerten für den gleichen festen Betrag Δy ermittelt. Vergleicht man die Substitutionsraten in A_1 , A_3 und A_5 , so werden gleich hohe Δy -Beträge bei tiefen x -Werten durch kleinere Δx -Beträge substituiert als bei höheren x -Werten: Bei festem y_i nehmen die Substitutionsraten mit Wachsendem x zu. Wird x_i festgehalten und werden die Substitutionsraten in A_2 ,

A_3 und A_4 miteinander verglichen, so nehmen die Substitutionsraten A_x mit zunehmendem y ab. Zusammenfassend heißt dies, daß Beträge von A_x und A_y um so schwerer kompensiert werden können, je tiefer die entsprechende Ausgangsbewertung ist. Substitutionsraten wie in Abbildung 12 sind ein Zeichen für den abnehmenden Grenznutzen und führen zu den in Abbildung 11 gegebenen Indifferenzkurven.

Entspricht die lokale Substitutionsrate der generellen Substitutionsrate, so ergeben sich für die Indifferenzkurven Geraden, die parallel in Richtung der Pfeile verlaufen; damit konsistent ist die folgende Bewertung der Alternativen:

$$U(A_i) = U(x_i, y_i) = x_i + c y_i,$$

wobei c eine Konstante ist und der Steigung der Geraden entspricht.

2.5.4.2 Die Bedingung korrespondierender Substitutionsraten und das additive Modell

Für die Darstellung der Bedingung korrespondierender Substitutionsraten sei von der folgenden in Abbildung 13 dargestellten Situation ausgegangen:

Im zweidimensionalen Attributenraum werden 4 in einem Rechteck liegende Punkte betrachtet, etwa $A(x_1, y_1)$, $B(x_1, y_2)$, $C(x_2, y_1)$ und $D(x_2, y_2)$, und ein Entscheider habe für die Punkte A, B und C die Substitutionsraten wie folgt angegeben:

Eine Verschlechterung um A_{x_1} in A werde durch eine Verbesserung um A_{y_1} kompensiert;

eine Verschlechterung um A_{x_1} in B werde durch eine Verbesserung um A_{y_2} kompensiert und

eine Verbesserung um A_{y_1} in C werde durch eine Verschlechterung um A_{x_2} kompensiert.

Ausgehend von dieser Situation kann dieser Entscheider für D gefragt werden, welche Verschlechterung in Attribut X durch eine Verbesserung um Δy_2 kompensiert werde, bzw. welche Verbesserung im Attribut y eine Verschlechterung um A_{x_2} kompensiere. Gilt in D, daß eine Verschlechterung um A_{x_2} durch eine Verbesserung um A_{y_2} ausgeglichen werde, und gilt dies unabhängig von den speziellen Werten x_1 , x_2 , y_1 , y_2 , ist die Bedingung der korrespondierenden Substitutionsraten bzw. korrespondierenden Tradeoffs in (XY) erfüllt. Aus dieser Bedingung folgt, daß die Präferenzstruktur additiv ist: Für Präferenzen im zweidimensionalen Fall gilt die Bedingung der korrespondierenden Tradeoffs genau dann, wenn Präferenzen über eine additive Wertfunktion der Art

$$U(x, y) = u(x) + u(y) \quad (1)$$

repräsentiert werden können, wobei $u(x)$ und $u(y)$ die Wertfunktionen einer Person auf den Attributen X und Y sind. (Den Beweis geben Luce & Tukey, 1964.)

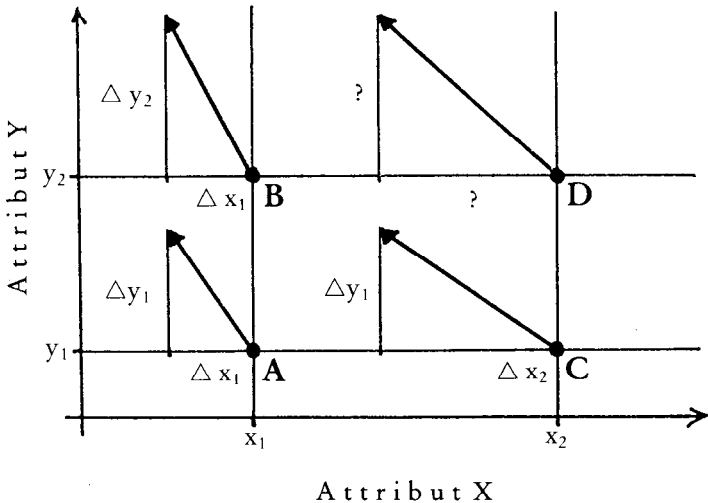


Abb. 13: Darstellung der Bedingung korrespondierender Substitutionsraten

2.5.4.3 Präferenzunabhängigkeit und das additive Modell

Werden Alternativen auf mehr als zwei Attributen beschrieben, so sind Präferenzen in einem entsprechend vieldimensionalen Raum zu bestimmen. Der Entscheider, der seine Präferenzen in diesem Raum anzugeben hat, steht vor der Aufgabe, eine Vielzahl von Konsequenzen im Zusammenhang zu berücksichtigen und z.B. Substitutionsraten zwischen relativen Verbesserungen und Verschlechterungen in mehreren Attributen gleichzeitig spezifizieren zu müssen. Substitutionsraten mehrdimensional zu erheben wird den Entscheider allerdings in vielen Fällen überfordern. Ein Ausweg liegt darin, bedingte Präferenzen zu erheben und daraus auf die Präferenzen insgesamt rückzuschließen. Aus der Menge aller Alternativen, deren Konsequenzen in n Attributen liegen, können verschiedene Teilmengen definiert werden, z.B. die Teilmenge von Alternativen, die in den Attributen X_1 und X_2 zu der gleichen spezifischen Konsequenz führen, jedoch in den verbleibenden Attributen X_3 bis X_n unter-

schiedliche Konsequenzen haben und damit nur noch in $(n-2)$ Dimensionen variieren. Werden Präferenzen für solche Teilmengen erhoben, handelt es sich um bedingte Präferenzen, d.h. Präferenzen für Alternativen unter der Bedingung spezifischer Konsequenzen für einen Teil der Attribute.

Im dreidimensionalen Fall mit den Attributen X , Y und Z können bedingte Präferenzstrukturen für (X,Y) bei festen $z \in Z$ erhoben werden. Sind diese bedingten Präferenzstrukturen unabhängig von dem speziellen Wert z , ist das Attributenpaar (XY) präferenzunabhängig von Z . Gilt für drei Attribute, daß

(XY) präferenzunabhängig von Z ist und
 (YZ) präferenzunabhängig von X , so ist auch
 (XZ) präferenzunabhängig von Y :

Die Attribute X , Y und Z erfüllen die Bedingung der wechselseitigen Präferenzunabhängigkeit.

Für $n > 3$ gilt die Bedingung der wechselseitigen Präferenzunabhängigkeit, sofern jede Teilmenge von Attributen präferenzunabhängig vom Komplement ist. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn jedes Attributenpaar präferenzunabhängig vom Komplement ist.

Die Relevanz der Präferenzunabhängigkeit ergibt sich aus folgendem: Für eine Menge von Attributen gilt die Bedingung der wechselseitigen Präferenzunabhängigkeit genau dann, wenn Präferenzen über eine additive Wertfunktion der Art

$$U(x,y,z) = u(x) + u(y) + u(z) \quad (2)$$

repräsentiert werden können.

Während im zweidimensionalen Fall für die Existenz einer additiven Wertfunktion gefordert wurde, daß die Präferenzen in (XY) die Bedingung der korrespondierenden Tradeoffs erfüllen, wurde diese Forderung im mehrdimensionalen Fall nicht aufgeführt: Die wechselseitige Präferenzunabhängigkeit impliziert das jedoch bereits, und für $n = 3$ folgt die Bedingung der korrespondierenden Tradeoffs in (XY) aus der Präferenzunabhängigkeit (XZ) von Y und (YZ) von X . Kenney und Raiffa (1976, S. 106) belegen dies näher.

2.5.4.4 Festlegung einer additiven Wertfunktion

Ist die Existenz einer additiven Wertfunktion nachgewiesen, wird eine Bewertung der Alternativen aus den Bewertungen der Konsequenzen pro Attribut sowie deren additive Verknüpfung möglich. Hier soll näher untersucht werden, wie diese additive Funktion aussehen kann und wie die einzelnen Koeffizienten interpretiert werden können.

Im n-dimensionalen Fall mit den Attributen $X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_n$ und den Alternativen $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{in})$ sind für einen Entscheider die mit den Alternativen verbundenen Nutzen $U(A_i)$ zu bestimmen. Bei Gültigkeit der Präferenzunabhängigkeit bzw. der Bedingung korrespondierender Tradeoffs ergibt sich als allgemeinste Form der additiven Funktion:

$$\begin{aligned} U(A_i) &= w_1 u(x_{i1}) + w_2 u(x_{i2}) + \dots w_k u(x_{ik}) + \dots w_n u(x_{in}) + c \\ &= \sum_k w_k u(x_{ik}) + c \end{aligned} \quad (3)$$

mit w_k als den linearen Gewichtungsfaktoren und c als einer additiven Konstanten. Wird pro Attribut eine Bewertung der Konsequenzen in der Weise durchgeführt, daß der jeweils schlechtesten/besten Konsequenz der Wert Null/Eins zugewiesen wird, so gilt:

$$u(x_{k*}) \triangleq u_{k*} = 0 \text{ und } u(x_k^*) \triangleq u_k^* = 1 \text{ für alle } k.$$

Die Position des Sterns (unten/oben) kennzeichnet die schlechteste/beste Konsequenz des betrachteten Attributs. Mit dieser Verankerung der Skala werden allen anderen Konsequenzen eines Attributs Werte im Intervall $[0, 1]$ zugewiesen. Weiterhin sei der Alternative mit überall - in allen Attributen - schlechtesten/besten Konsequenzen auf der Skala der Gesamtbewertung der Wert Null/Eins zugeordnet. Dann resultiert für die additive Konstante ein Wert von $c=0$, denn:

$$U_* = U(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_{n*}) = \sum_k w_k u(x_{k*}) + c = \sum_k w_k \cdot 0 + c = 0.$$

Für die linearen Gewichtungsfaktoren w_k resultiert $\sum_k w_k = 1$, denn:

$$U^* = U(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \sum_k w_k u(x_k^*) = \sum_k w_k \cdot 1 = 1$$

Für die Alternative mit der besten Konsequenz in Attribut k und der schlechtesten in allen anderen Attributen resultiert die Bewertung:

$$\begin{aligned} U(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_k^*, \dots, x_{n*}) &= w_1 u(x_{1*}) + \dots w_k u(x_k^*) + \dots w_n u(x_{n*}) \\ &= w_k \end{aligned}$$

Hierbei ist w_k ein Maß für den Beitrag der verschiedenen Konsequenzen im Attribut X_k zum Gesamtwert der Alternativen. Es ist das anteilige Gewicht eines Attributs und kennzeichnet seine Wichtigkeit bzw. Relevanz im Hinblick auf die geltenden Ziele. Unter den genannten Bedingungen ergibt sich die folgende Bewertung für Alternative A_i :

$$U(A_i) = \sum_k w_k u(x_{ik}) \quad (4)$$

wobei x_{ik} wieder die spezielle Konsequenz der Alternativen A_i im Attribut X_k kennzeichnet.

Die Überlegungen dieses Abschnitts können folgendermaßen zusammengefaßt werden: Genügen die Präferenzen eines Entscheiders hinsichtlich der mehrdimensionalen Konsequenzen von Alternativen der Bedingung der wechselseitigen Präferenzunabhängigkeit, ist eine numerische Gesamtbewertung der Alternativen entsprechend Gl. (4) angemessen. Im Hinblick auf diese Bewertung sind folgende Informationen notwendig:

1. Konsequenzen der Alternativen: Für jede einzelne Alternative muß bekannt sein, welche Konsequenz bei Wahl dieser Alternative in jedem einzelnen Attribut resultiert.
2. Partialnutzen pro Attribut: Die verschiedenen Konsequenzen in einem Attribut müssen nutzenskaliert sein.
3. Relevanz der Attribute: Das Ausmaß, in dem die betrachteten Konsequenzen in einem Attribut zum Gesamtwert von Alternativen beitragen, muß als Gewichtsschätzung vorliegen.

Der wesentliche Vorteil des Bewertungsmodells von Gl. (4) liegt in der Reduzierung der Komplexität des Bewertungsproblems: Die Bewertung von Alternativen im ursprünglich n -dimensionalen Attributenraum resultiert nunmehr aus den n eindimensionalen Bewertungen pro Attribut sowie der Spezifikation der Relevanz dieser Attribute.

2.5.5 Entscheidungsfindung als Verknüpfung von Teilnutzen in eine Gesamtbewertung

Es soll aufgezeigt werden, wie sich die Gewichtungsfaktoren für die Attribute bestimmen lassen, damit die Teilbewertungen je Attribut auf der Basis des additiven Modells in eine Gesamtbewertung integriert werden können. Abschließend werden die Überlegungen im Hinblick auf formale Entscheidungshilfe zusammengefaßt.

2.5.5.1 Die Bestimmung der Relevanz von Attributen

Sollen die Teilbewertungen der Alternativen auf den einzelnen Attributen zu einer Gesamtbewertung aggregiert werden, müssen gemäß dem oben dargestellten Bewertungsmodell u.a. Koeffizienten für die Wichtigkeit der Attribute bestimmt werden. Damit wird festgelegt, mit welchem relativen Anteil die verschiedenen Konsequenzen in dem jeweiligen Attribut die Gesamtbewertung beeinflussen.

Bei der Erhebung solcher Gewichtungsfaktoren sind zwei Sachverhalte gleichzeitig zu berücksichtigen: 1. Die generelle, dem Attribut „an sich“ zugewiesene

Wichtigkeit und 2. die konkret auftretende Spannweite der Konsequenzen der Alternativen in einem Attribut als die für die jeweilige Situation spezifische Wichtigkeit. Dies kann an folgendem Beispiel verdeutlicht werden: Wird ein Wohnungssuchender befragt, was ihm im Hinblick auf die neue Wohnung wichtiger sei, die Miethöhe oder die Entfernung zum Arbeitsplatz, so mag er sich für die Miete als das wichtigere Attribut entscheiden. Erfährt er dann, daß sich die konkreten Wohnungsangebote einerseits im Mietpreis um nur 50,-DM unterscheiden, aber andererseits zwischen 10 und 90 Autominuten vom Arbeitsplatz entfernt liegen, so mag er sich umentscheiden und das Attribut „Entfernung“ als das wichtigere bezeichnen wollen. Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden, muß eine Gewichtsschätzung für Attribute immer von den verschiedenen konkret sich ergebenden Konsequenzen in einem Attribut ausgehen. Im folgenden soll ein mögliches Verfahren exemplarisch geschildert werden (für die Darstellung weiterer Vorgehensweisen siehe John & Edwards, 1978a; John, Edwards & Collins, 1983; Schoemaker & Waid, 1982; Stillwell, Seaver & Edwards, 1981).

Wenngleich der Entscheider letztlich die Gewichte auf Verhältnisskalenniveau zu schätzen hat, so versucht man, ihm diese Aufgabe durch eine sinnvolle Aufteilung in Teilschritte zu erleichtern. In einem ersten Schritt hat der Entscheider pro Attribut die schlechteste und die beste Konsequenz zu identifizieren. Der zweite Schritt besteht darin, Attribute gemäß ihrer Wichtigkeit in eine Rangordnung zu bringen. Dem Entscheider werden alle Attribute zusammen mit der jeweils besten und schlechtesten Konsequenz vorgegeben, und er hat das Attribut zu identifizieren, bei welchem er am ehesten bereit wäre, auf die beste Konsequenz zu verzichten und die schlechteste in Kauf zu nehmen. Dies führt zum unwichtigsten Attribut. Eine Fortführung dieses Verfahrens für die jeweils verbleibenden Attribute führt zu einer Rangreihe gemäß der Wichtigkeit. In einem dritten Schritt sind dann die - prinzipiell erforderlichen - Verhältnisschätzungen der Gewichte vorzunehmen. Dies kann - in Anlehnung an das SMART-Verfahren von Edwards („simple multi attribute rating technique“, 1972) - durch eine Magnitude-Schätzung geschehen. Dem „Verlust“, der entstünde, wenn auf dem unwichtigsten Attribut statt der besten die schlechteste Konsequenz aufträte, wird willkürlich eine Wichtigkeit von 10 zugeordnet. Für jedes weitere Attribut ist der Verlust im Vergleich hierzu zu beurteilen. Wird ein Attribut z.B. als eineinhalbmal so wichtig erachtet wie das unwichtigste, muß es eine Wichtigkeit von 15 erhalten wird ein anderes für dreimal so wichtig erachtet, muß es eine Wichtigkeit von 30 erhalten, usw. Zur Konsistenzprüfung können diese beiden so eingeschätzten Attribute direkt miteinander verglichen werden, wobei dann ein Verhältnis von 1:2 resultieren sollte. Die derart allen Attributen zugeordneten Gewichte können auf die Gewichtssumme relativiert werden, woraus normierte Gewichte mit $\sum_k w_k = 1$ resultieren. Für das hier vorgeschlagene Verfahren bieten sich verschiedene Variationen an, siehe z.B. Huber (1974).

Ein Verfahren, welches ausgehend von mindestens zwei Indifferenzkurven pro Attributenpaar gleichzeitig die Nutzenmessung auf den Attributen sowie die Gewichtsschätzung für Attribute vornimmt, ist das von Toda (1971) entwickelte Treppenverfahren (für eine Beschreibung siehe auch Kneppreth et al., 1974; für ein Approximationsverfahren der vorzunehmenden Skalierungen gemäß „Least-Square“ siehe Toda, 1974). Hierbei wird aus den Indifferenzfunktionen auf die Nutzenskala der Attribute rückgeschlossen, und pro Attribut wird die Nutzenskala so verankert, daß die Variationsbreite der Skalenwerte die Wichtigkeit bereits berücksichtigt (nämlich $u(x_{k*}) = 0$ und $u(x_{k*}) = w_k$ für alle k).

über die Relevanz, die den Gewichtsschätzungen zukommt, herrscht Uneinigkeit. Einige Autoren betonen, daß Entscheidungen in stärkerer Weise von den Gewichten als beispielsweise von den pro Attribut bestimmten Nutzenwerten abhängen (Huber, 1974); andere hingegen betonen die Robustheit linearer Modelle gegenüber Variationen der Gewichte, wozu sie als Argumente die Ergebnisse von Einhorn und Hogarth (1975), Fischer (1972), John und Edwards (1978b) und Keren und Newman (1978) heranziehen können. In einer systematischen Untersuchung über den Einfluß verschiedener Verfahren der Gewichtsschätzung auf die Güte der resultierenden Entscheidungen kommen John, Edwards und Collins (1983) zu dem Ergebnis, daß einfache Verfahren zu gleich guten Entscheidungen führten wie komplizierte und/oder besser fundierte Verfahren. Inwieweit diese Ergebnisse verallgemeinert werden können, bedarf allerdings - insbesondere im Hinblick auf realistische Entscheidungssituationen - weiterer Klärung.

Bei der Wahl der Erhebungsmethode für die Gewichtsschätzung ist auch hier wieder zwischen der Praktikabilität und Verständlichkeit einerseits und der Erfüllung meßtheoretischer Erfordernisse andererseits abzuwägen. Allgemein ist zu sagen, daß die beiden Faktoren „Bedeutsamkeit einer Entscheidungssituation“ und „Expertenstatus eines Entscheiders“ mitbestimmen, inwieweit theoretisch anspruchsvolle Verfahren angemessen sind, welche es dem Entscheider ermöglichen, seine Vorstellungen präziser und differenzierter zum Ausdruck zu bringen.

2.5.5.2 Die Nützlichkeit des additiven Modells

Sofern das additive Modell als Bewertungsmodell für multiattributive Alternativen angemessen ist, ergeben sich außerordentlich wünschenswerte Eigenschaften: Die Bewertungen multiattributiver Alternativen resultieren aus einer Anzahl eindimensionaler Bewertungen zu Attributen zusammen mit vergleichsweise einfachen Abwägungen zwischen Attributen. Als Folge davon braucht der Entscheider seine Präferenzen nur in bezug auf relativ wenige und einfache Sachverhalte zu spezifizieren. Allerdings wird man in realistischen Entscheidungssituationen nur selten davon ausgehen können, daß die Präfe-

renzstruktur eines Entscheiders vollständig der Bedingung der wechselseitigen Präferenzunabhängigkeit genügt. Dieser Diskrepanz kann man auf zweierlei Weise begegnen: (1) Man wählt die Attribute bereits im Hinblick darauf, daß die später zu erhebenden Präferenzen mit einiger Aussicht bedingt unabhängig sein können. (2) Man prüft die Sensibilität des additiven Modells auf Verletzungen von Voraussetzungen. Dazu hat sich ergeben, daß Diskrepanzen zwischen der - unter Annahme des additiven Modells - analytisch bestimmten Präferenzstruktur und den tatsächlichen Präferenzen hinnehmen kann, solange die Bedingung der Monotonie gilt, d.h. solange die Rangordnung der Bewertungen für verschiedene hypothetische Alternativen, die nur hinsichtlich eines Attributs variieren, unabhängig von den speziellen festen Konsequenzen der anderen Attribute ist. Der Verbleib bei einem additiven Vorgehen liegt auch insofern nahe, als Abweichungen zwischen vom Modell geforderten und tatsächlichen Präferenzen nicht nur aus der Unangemessenheit des additiven Modells, sondern ebenso aus Fehlern des Entscheiders bei der Angabe seiner Präferenzen resultieren können, und daß diese Fehler mit der Komplexität der Aufgabe zunehmen. Für die Nützlichkeit des Ansatzes sprechen darüber hinaus die guten Erfahrungen, die in konkreten Anwendungen mit Bewertungen über das additive Modell gemacht wurden (siehe z.B. Edwards, 1977b; Fischer, 1975; Humphreys, 1977).

Die Suche nach einer Attributenmenge, für welche die wechselseitige Präferenzunabhängigkeit bestmöglich gilt, ist damit sowohl im Sinne des Entscheiders als auch des Entscheidungsanalytikers. Gilt die Präferenzunabhängigkeit nicht, wird man versuchen, sie herzustellen bzw. anzunähern. Hierzu bieten sich verschiedene Verfahrensweisen an, nämlich 1. die Menge der Attribute zu modifizieren, 2. Attributtransformationen durchzuführen, 3. für Teilmengen von Attributen die Additivität zu überprüfen und/oder 4. ein aus mehreren Attributen zusammengesetztes Superattribut zu definieren. Verfahren wie MAUD (siehe 2.2.4) überprüfen bei der Extraktion der Attribute bereits die Präferenzunabhängigkeit (zu Unabhängigkeitsbedingungen siehe v. Winterfeldt, 1980 a).

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß die Präferenzunabhängigkeit eine wesentlich schwächere Voraussetzung ist als die Unabhängigkeit der Attribute selbst bzw. die sog. „environmental independence“ (Edwards, 1977a). Attribute sind fast nie stochastisch unabhängig voneinander; so korreliert z.B. bei Wohnungen der Mietpreis mit der Größe der Wohnung.

Hinsichtlich der Präferenzunabhängigkeit ist hier nur wesentlich, daß die beiden Urteilsaspekte - im Beispiel: Präferenzen zu Miete und Größe - unabhängige Bewertungskriterien sind und daß diese Präferenzen insbesondere die Monotonie-Bedingung erfüllen.

2.5.5.3 Entscheidungsfindung auf der Basis des additiven Modells im Fall sicherer Konsequenzen

Die bislang dargestellten Verfahrensweisen und Erkenntnisse sollen im Hinblick auf eine Entscheidungshilfe konzentriert und zusammengefaßt werden, wobei von einer Entscheidung zwischen Alternativen mit sicheren Konsequenzen ausgegangen wird. Betrachtet man den Gesamtvorgang der Entscheidungsfindung einschließlich Zielstrukturierung (siehe 2.3) und Nutzenmessung (siehe 2.4 und 2.5), so kann man in folgenden Schritten vorgehen:

1. Bestimme die „Einheit“ (Person, Organisation), deren Nutzen zu maximieren ist, sowie den Entscheider (Person oder Gruppe von Personen), dessen Vorstellungen hierzu maßgeblich sind.
2. Bestimme den Problembereich sowie die verschiedenen Absichten und Zielvorstellungen des Entscheiders.
3. Bestimme die verschiedenen Handlungsalternativen oder den Handlungsspielraum, der zur Verfügung steht.
4. Bestimme die Attribute als die relevanten Dimensionen, in bezug auf die Alternativen zu bewerten sind. Gehe dabei sowohl von den vorliegenden Alternativen aus und überlege, worin sich diese unterscheiden und ob diese Unterscheidungen bewertungsrelevant sind, als auch von den abstrakten Zielen und Absichten des Entscheiders und überlege, in welchen Attributen sich diese manifestieren würden. Benutze hierzu gegebenenfalls MAUD (2.2.4).
5. Wähle eine geeignete Teilmenge von Attributen und achte darauf, daß diese nicht zu groß ist und daß die verschiedenen Konsequenzen auf den Attributen für sich allein und nicht in Abhängigkeit von Konsequenzen auf anderen Attributen bewertbar sind.
6. Ermittle die Konsequenzen der Alternativen in den betrachteten Attributen.
7. Wähle eine geeignete Methode zur Nutzenmessung der verschiedenen Konsequenzen in einem Attribut. Benutze hierzu gegebenenfalls die in 2.4.3 dargestellte direkte Methode.
8. Ermittle den Nutzen der verschiedenen Konsequenzen pro Attribut.
9. Wähle eine geeignete Methode zur Erhebung der Gewichte für die verschiedenen Attribute. Benutze hierzu gegebenenfalls das in 2.5.5.1 dargestellte Verfahren (Rangordnung über Attribute, Magnitudeschätzung pro Attribut, Normierung).
10. Ermittle die Gewichte der Attribute.
11. Bestimme ein geeignetes Aggregationsmodell. Überprüfe hierzu, ob die Bedingung der Monotonie erfüllt ist. Falls ja, akzeptiere das additive Modell; falls nein, suche nach Mitteln und Wegen, dies zu erreichen, und gehe gegebenenfalls zurück zu Schritt 4.
12. Berechne den Nutzen der Alternativen über das Aggregationsmodell.

(Beim additiven Modell werden die verschiedenen bewerteten Konsequenzen einer Alternative mit dem Gewicht des jeweiligen Attributs multipliziert und diese Produkte über die Attribute aufsummiert.)

13. Entscheide und wähle die am höchsten bewertete Alternative.

Prozeduren wie die hier dargelegten ermöglichen somit, multiattributive Alternativen in transparenter Weise und im Blick auf die konkreten Ziele des Handelnden zu bewerten; sie sind allgemein genug, um in unterschiedlichsten Kontexten einsetzbar zu sein.

2.6 Die Bewertung multiattributiver Alternativen bei Unsicherheit über die Konsequenzen

In diesem Abschnitt geht es um Entscheidungen zwischen solchen Alternativen, deren Konsequenzen in bewertungsrelevanten Attributen nicht sicher, sondern nur mit Wahrscheinlichkeiten eintreten. Von daher sind hinsichtlich der Konsequenzen gleichzeitig Wahrscheinlichkeits- und Nutzenüberlegungen anzustellen. Hier soll zunächst der Aspekt der Nutzenbewertung behandelt werden und von bekannten oder vorliegenden Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich des Auftretens der verschiedenen Konsequenzen ausgegangen werden; der Wahrscheinlichkeitsaspekt wird in Abschnitt 2.7 betrachtet werden.

2.6.1 Ausgangspunkt

Grundlage der Bewertung multiattributiver Alternativen im Fall unsicherer Konsequenzen ist die von v. Neumann und Morgenstern (1947) entwickelte Nutzentheorie, die im Rahmen der multiattributiven Nutzentheorie auf hypothetische Wahlsituationen hinsichtlich solcher Alternativen erweitert wurde, die gleichzeitig zu Konsequenzen in mehreren Attributen führen. Erste Darstellungen hierzu geben Fishburn (1965) und Raiffa (1969), eine ausführliche Abhandlung liegt mit der Monographie von Keeney und Raiffa (1976) vor.

Bei der Bewertung von Alternativen im Fall sicherer Konsequenzen wurde im Prinzip so vorgegangen, daß die Präferenzen des Entscheiders im n -dimensionalen Attributenraum bestimmt und die verfügbaren Alternativen durch ihre spezifischen Konsequenzen in den Attributen als Punkte in diesem Raum abgebildet wurden: Aus beidem zusammen ist die zu wählende Alternative ableitbar. Die Darstellung von „unsicheren“ Alternativen im mehrdimensionalen Attributenraum ist nicht so einfach möglich. Alternativen können nicht mehr als ein Punkt dargestellt werden, sondern im Fall diskreter Konsequenzen in Attributen als Menge von Punkten, im Fall stetiger Konsequenzen als mehrdimensionale Fläche. Dabei ist den einzelnen Punkten eine Auftretenswahrscheinlichkeit (bzw. Wahrscheinlichkeitsdichte) zugeordnet. Verallgemei-

nernd ist eine Alternative im n -dimensionalen Attributenraum dadurch spezifiziert, daß jedem Punkt als einer speziellen Kombination von Konsequenzen in Attributen die zugehörige Auftretenswahrscheinlichkeit oder Wahrscheinlichkeitsdichte zugeordnet ist. Verschiedene Alternativen unterscheiden sich dann durch die ihnen zugeordneten n -dimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Für eine Alternative mit sicheren Konsequenzen gilt der Spezialfall, daß einem Punkt die Wahrscheinlichkeit von Eins und allen anderen Punkten eine von Null zugewiesen wird.

2.6.2 Bestimmung der effizienten Menge von Alternativen

Für die Bestimmung der effizienten Menge von multiattributiven Alternativen bei unsicheren Konsequenzen ist das Konzept der Dominanz auf das der stochastischen Dominanz auszuweiten. Sofern Nutzenfunktionen pro Attribut monoton steigend sind, d.h. $u'(x) > 0$, dominiert eine Alternative A_i eine andere Alternative A_j , wenn die kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilung von A_i im Attributenraum nie die von A_j überschreitet, aber mindestens einmal unterschreitet. Diese auch als „First Order Stochastic Dominance Rule“ bezeichnete Regel wird im Zusammenhang mit der Portfolio-Problematik wo es um optimale Mischungen von Strategien geht von Levy und Hanoch (1970) sowie Levy und Sarnat (1970) diskutiert.

Weitere Alternativen können dann als stochastisch dominiert ausgeschlossen werden, wenn die Klasse der zulässigen Nutzenfunktionen zusätzlich beschränkt wird auf risikoaversive Nutzenfunktionen (zusätzlich $u''(x) < 0$; dies führt zur „Second Order Stochastic Dominance“, siehe hierzu Hadar & Russell, 1969; 1971; Hanoch & Levy, 1969) bzw. auf abnehmend risikoaversive Nutzenfunktionen (zusätzlich $u'''(x) > 0$; dies führt zur „Third Order Stochastic Dominance“, siehe Whitmore, 1970). Eine Zusammenfassung hierzu gibt Bawa (1975, 1976).

Die Bestimmung der effizienten Alternativenmenge ist nicht mehr-wie im Falle sicherer Konsequenzen - offensichtlich, und nur durch restriktive Forderungen an die Nutzenfunktionen ist die Menge der nichtdominierten Alternativen spürbar zu reduzieren. Der Versuch, die Menge der Alternativen im ersten Schritt auf die Menge der nicht-dominierten zu reduzieren, stellt für viele Entscheidungssituationen ein zu aufwendiges Verfahren dar. Dies scheint auch insofern häufig entbehrlich, als die - nachfolgend beschriebene - Alternativenbewertung in Form multiattributiver Nutzenmessung zu ähnlichen Schlußfolgerungen führt. Zwar werden dabei die Alternativen der effizienten Menge nicht notwendigerweise alle höchste Nutzenwerte erhalten, doch erzielen dominierte Alternativen nie Höchstbewertungen, weshalb sie ohnehin nicht gewählt würden.

2.6.3 Multiattributive Nutzenmessung unter Berücksichtigung von Unsicherheit

Sofern Alternativen nur mit Wahrscheinlichkeiten zu Konsequenzen führen, muß nach entscheidungstheoretischer Auffassung diese Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenzen bei der Bewertung der Alternativen berücksichtigt werden. Wie dies im Fall von Alternativen erfolgen kann, die nur hinsichtlich eines Attributs variieren, wurde in 2.4.3 dargestellt. Der dort beschriebene Fall kann auf die multiattributive Situation übertragen werden.

Wird $A^* := (x_1^*, x_2^* \dots x_n^*)$ als die Alternative mit überall besten Konsequenzen, $A_* := (x_{1*}, x_{2*} \dots x_{n*})$ als die mit überall schlechtesten Konsequenzen bezeichnet, so kann jeder Alternativen A_i eine Wahrscheinlichkeit G_{A_i} zugewiesen werden, so daß der Entscheider zwischen der Alternativen A_i und der folgenden Lotterie indifferent ist:

$$A_i \sim [A^*, G_{A_i}; A_*, (1-G_{A_i})]$$

D. h.: Der Entscheider ist indifferent dazwischen, sicher die Alternative A_i mit ihren unsicherheitsbehafteten Konsequenzen oder die Lotterie zu erhalten, bei der A^* mit einer Wahrscheinlichkeit von G_{A_i} und A_* mit der Restwahrscheinlichkeit $(1-G_{A_i})$ resultiert. Die Wahrscheinlichkeit G_{A_i} ist ein direktes Maß für die Güte einer Alternativen A_i und es gilt: $G_{A^*} = 0$, $G_{A_*} = 1$ und $0 \leq G_{A_i} \leq 1$.

Dieses Verfahren der direkten Zuweisung von Indifferenzwahrscheinlichkeiten hat verschiedene Nachteile: (1) Es ist nur anwendbar, wenn die Menge der Alternativen begrenzt ist, (2) es stellt keinerlei Entscheidungshilfe dar, da die komplexen Alternativen als Ganzes betrachtet werden, (3) die Präferenzstruktur des Entscheiders wird nicht offengelegt, und deshalb kann für neu hinzukommende Alternativen keine Bewertung abgeleitet werden und (4) die Konsistenz der Bewertungen des Entscheiders kann nicht überprüft werden.

Deshalb liegt es nahe, Bedingungen im Hinblick auf Präferenzstrukturen zu formulieren, bei deren Gültigkeit sich der Nutzen der hier betrachteten komplexen Alternativen aus der Bewertung einfacher Sachverhalte ergibt und damit die Komplexität des Entscheidungsproblems vermindert wird.

2.6.4 Nutzenunabhängigkeit und das multiplikative Modell

Die Nutzenunabhängigkeit bezieht sich auf Präferenzen für Lotterien und stellt strukturelle Anforderungen an die bedingten Präferenzen. Bedingte Präferen-

zen für Lotterien ergeben sich dann, wenn die betrachteten Alternativen nur auf einer Teilmenge der Attribute variieren und für die Attribute der Restmenge (das Komplement) den gleichen festen Wert aufweisen. Eine Teilmenge von Attributen ist dann nutzenunabhängig von ihrem Komplement, wenn die bedingten Präferenzen für Lotterien nicht von den speziellen festen Werten der Attribute im Komplement abhängen. Eine Menge von Attributen wird als wechselseitig nutzenunabhängig bezeichnet, wenn die Bedingung der Nutzen-Unabhängigkeit für jede Teilmenge gilt. Diese Bedingung ist bereits erfüllt, wenn die Attribute X_1, X_2, \dots, X_n wechselseitig unabhängig von ihrem Komplement sind.

Gilt die wechselseitige Nutzenunabhängigkeit, resultiert der Nutzen einer Alternative aus den eindimensionalen, pro Attribut definierten Nutzenskalen:

$$\begin{aligned}
 U(A_i) &= \sum_{j=1}^n w_j u(x_{ij}) + w \sum_{j=1}^n \sum_{k>j}^n w_j w_k u(x_{ij}) u(x_{ik}) \\
 &+ w^2 \sum_{j=1}^n \sum_{k>j}^n \sum_{l>k}^n w_j w_k w_l u(x_{ij}) u(x_{ik}) u(x_{il}) + \dots \\
 &+ w^{n-1} w_1 w_2 w_3 \dots w_n u(x_{i1}) u(x_{i2}) \dots u(x_{in}), \tag{5}
 \end{aligned}$$

wobei entsprechend zu vorher gilt:

- 1) $U(A^*) = 1$ und $U(A_*) = 0$;
- 2) $u(x_j^*) = 1$ und $u(x_{j*}) = 0$;
- 3) $w_j = U(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_j^*, \dots, x_{n*})$ und
- 4) $w = \text{Skalierungskonstante}$.

Ist $\sum_j w_j = 1$, so resultiert aus Gl. (5) für den Nutzen der besten Alternative A^* mit $U(A^*) = 1$, daß w Null ist, und es ergibt sich das additive Modell:

$$U(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j u(x_{ij}).$$

In 2.6.5 werden die Bedingungen untersucht, unter denen die Summe der Gewichte Eins ergibt. Bereits hier wird deutlich, daß das additive Modell ein Spezialfall des multiplikativen Modells ist, sofern eben $\sum_j w_j = 1$ gilt.

Für $\sum_j w_j \neq 1$ ist $w \neq 0$, und Gl. (5) läßt sich wie folgt schreiben:

$$U(A_i) = \frac{1}{w} \prod_{j=1}^n [1 + w w_j u(x_{ij})] - \frac{1}{w}. \tag{6}$$

Wird Gl. (6) auf die Alternative A^* angewendet, resultiert für die Skalierungskonstante w :

$$U(A^*) = 1 = \frac{1}{w} \prod_{j=1}^n (1 + w w_j) - \frac{1}{w}, \text{ bzw.}$$

$$1 + w = \prod_{j=1}^n (1 + w w_j) \tag{7}$$

Wenngleich die Formel für das multiplikative Modell kompliziert erscheint, so stellt sie im Hinblick auf die erforderlichen Bewertungen von Alternativen eine erhebliche Reduzierung der Komplexität dar: Es ist pro Attribut eine (bedingte) Nutzenfunktion zu erstellen, indem das Lotterieverfahren auf Alternativen angewendet wird, die nur hinsichtlich eines (des jeweils betrachteten) Attributs variieren, und pro Attribut sind die Gewichte w_j zu schätzen (siehe hierzu 2.6.6). Der Skalierungsfaktor w kann dann mit einem geeigneten Approximationsverfahren aus Gl. (7) bestimmt werden, z. B. dem in Keeney, 1974, sowie Keeney und Raiffa (1976, Appendix 6 B) angegebenen Verfahren.

Bei Gültigkeit der wechselseitigen Nutzenunabhängigkeit ist es hinreichend, Bewertungen für die in Abbildung 14b charakterisierten Alternativen zu erheben, um hieraus für alle Alternativen eine Nutzenbewertung abzuleiten.

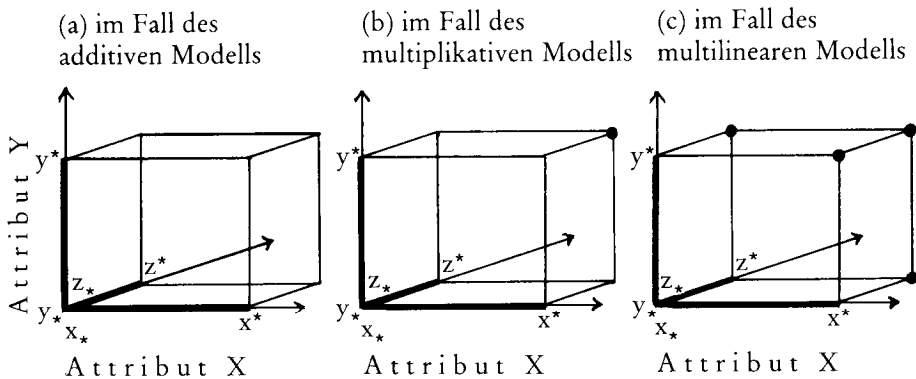


Abb. 14: Graphische Veranschaulichung der notwendigen Schätzungen zur Bestimmung des multiattributiven Nutzens.

Ist die wechselseitige Nutzenunabhängigkeit nicht erfüllt, gilt aber immerhin, daß die einzelnen Attribute X_1, X_2, \dots, X_n nutzenunabhängig von ihrem Komplement sind, so resultiert für die Bewertung der Alternativen das multilineare Modell:

$$\begin{aligned}
 U(A_i) = & \sum_{j=1}^n w_j u(x_{ij}) + \sum_{j=1}^n \sum_{k>j}^n w_{jk} u(x_{ij}) u(x_{ik}) \\
 & + \sum_{j=1}^n \sum_{k>j}^n \sum_{l>k}^n w_{jkl} u(x_{ij}) u(x_{ik}) u(x_{il}) + \dots \\
 & + w_{1,2,3,\dots,n} u(x_{i1}) u(x_{i2}) \dots u(x_{in})
 \end{aligned} \tag{8}$$

mit $U(A_*) = 0, U(A^*) = 1, u(x_{j*}) = 0$ und $u(x_{j*}^*) = 1$.

Die verschiedenen Gewichtungsfaktoren in Gl. (8) resultieren aus dem probabilistisch bestimmten Nutzen, der den Eckpunkten in Abbildung 14c zugewiesen ist; siehe hierzu auch 2.6.6. Im Fall der Angemessenheit des multilinearen Modells resultieren die Nutzen der Alternativen aus den Nutzenwerten für solche Alternativen in Abbildung 14c, die auf die dick markierten Bereiche fallen.

2.6.5 Additive Nutzenunabhängigkeit und das additive Modell

Die additive Nutzenunabhängigkeit ist eine schärfere Bedingung als die Nutzenunabhängigkeit und besagt, daß Präferenzen ausschließlich von der den verschiedenen Konsequenzen zugeordneten Auftretenswahrscheinlichkeiten abhängig und von den speziellen Kombinationen der Konsequenzen unabhängig sind. Für zwei Attribute X und Y gilt die additive Nutzenunabhängigkeit, wenn ein Entscheider zwischen den beiden folgenden Lotterien indifferent ist:

$$\left[(x_1, y_1), \frac{1}{2}; (x_2, y_2), \frac{1}{2} \right] \sim \left[(x_1, y_2), \frac{1}{2}; (x_2, y_1), \frac{1}{2} \right]$$

Beide Lotterien führen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit zu den Konsequenzen x_1 , x_2 , y_1 , y_2 ; sie unterscheiden sich nur in ihrer Kombination voneinander. Die Gültigkeit dieser Bedingung wurde von v. Winterfeldt und Fischer (1975) für den Fall extremer Konsequenzen anschaulich in Frage gestellt. Stellt man einem Entscheider z.B. die folgenden beiden Alternativen zur Auswahl:

- A_1 : Es wird eine Münze geworfen. Beim Eintreten des Ereignisses Zahl erhalten Sie einen Rolls Royce und 10,- DM, beim Eintreten des Ereignisses Wappen ein gebrauchtes Fahrrad und 100 000,- DM; oder
- A_2 : Es wird eine Münze geworfen. Beim Eintreten des Ereignisses Zahl erhalten Sie einen Rolls Royce und 100 000,- DM, beim Eintreten des Ereignisses Wappen ein gebrauchtes Fahrrad und 10,- DM.

Beide Alternativen führen zu der gleichen Randverteilung der Konsequenzen: sowohl A_1 als auch A_2 führen mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 zur Konsequenz „10,- DM“ bzw. „100 000,- DM“ sowie „Rolls Royce“ bzw. „gebrauchtes Fahrrad“. Dessen ungeachtet würde hier wohl so gut wie jeder Entscheider Alternative A_1 bevorzugen, da bei A_1 sicher ein hoher Gewinn eintritt. Für realistischere Konsequenzen, die weniger extrem variieren, mag die additive Nutzenunabhängigkeit dennoch häufig weitgehend erfüllt sein.

Gilt die wechselseitige additive Nutzenunabhängigkeit, so folgt für die Bewertung der Alternativen das additive Modell:

$$U(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j u(x_{ij}) \quad (9)$$

mit $U(A_*) = 0$, $U(A^*) = 1$, $u(x_j^*) = 0$, $u(x_j^*) = 1$ und $\sum_j w_j = 1$.

Bei Gültigkeit des additiven Modells sind nur die (bedingten) Nutzenfunktionen entsprechend Abbildung 14 zu spezifizieren. Damit ist das additive Modell ein Spezialfall des multiplikativen Modells, welches seinerseits einen Spezialfall des multilinearen Modells darstellt.

Die Darstellung der drei wichtigsten Modelle für die Bewertung multiattributiver Alternativen bei unsicheren Konsequenzen erfolgte bislang formal und angelehnt an die hierzu jeweils notwendigen Bedingungen hinsichtlich der Präferenzstruktur des Entscheiders. Weitere speziellere Modelle werden in Keeney und Raiffa (1976, Kap. 5 und 6) behandelt.

2.6.6 Gewichtsbestimmung im Fall unsicherer Konsequenzen

Die Gewichte für die einzelnen Attribute, w_j , können unabhängig von dem speziellen Modell einheitlich definiert werden als der Nutzen der hypothetischen Alternative A_j , die im Attribut X_j die beste Konsequenz und überall sonst schlechteste Konsequenzen aufweist. Es gilt also: $w_j \triangleq U(A_j) = U(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_j^*, \dots, x_{n*})$, und das Gewicht eines Attributs X_j ist identisch mit dem Nutzen der hypothetischen Alternative A_j :

$$(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_j^*, \dots, x_{n*}) \sim [A^*, G_{A_j}; A_*, (1-G_{A_j})]$$

wobei die Wahrscheinlichkeit G_{A_j} in geeigneter Weise zu bestimmen ist, und $G_{A_j} = w_j$.

Die Zweckmäßigkeit dieser Gewichtsdefinition sei so veranschaulicht: Bedenkt man, daß die Alternative $U(A_*) = U(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_{n*})$ einen Nutzen von Null aufweist, so kann eine hypothetische Alternative $(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_j^*, \dots, x_{n*})$ nur durch die gute Ausprägung auf Attribut x_j besser als Null bewertet werden, und je wichtiger Attribut j ist, desto stärker muß der Nutzen dieser Alternative von Null abweichen.

Für die Aggregation des Gesamtnutzens von Alternativen aus den Teilnutzen auf Attributen sind im Fall der Angemessenheit des multiplikativen bzw. des additiven Modells nur Gewichte dieser Art erforderlich, da der Skalierungsfaktor w aus Gl. (7) resultiert.

Gilt das multilineare Modell, sind zusätzlich Gewichte der Art w_{jk} , w_{jkl} usw. zu bestimmen, wobei gilt:

$$w_{jk} = U(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_j^*, \dots, x_k^*, \dots, x_{n*}) - w_j - w_k \quad \text{bzw.}$$

$$w_{jkl} = U(x_{1*}, \dots, x_j^*, x_k^*, x_l^*, \dots, x_{n*}) - w_j - w_k - w_l - w_{jk} - w_{jl} - w_{kl} - w_j - w_k - w_l \text{ usw.}$$

Hierzu ist es erforderlich, den Nutzen von all denjenigen Alternativen zu bestimmen, die Kombinationen aus besten und schlechtesten Konsequenzen

darstellen, z.B. $(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, \dots, x_n^*)$ bzw. $(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, \dots, x_n^*)$. Diese Alternativen entsprechen den markierten Eckpunkten in Abbildung 14c.

Ist der Nutzen für alle Eckpunkte bestimmt, können alle für das multilineare Modell erforderlichen Gewichte berechnet werden, und zusammen mit der pro Attribut bestimmten Nutzenfunktion ergibt sich die Bewertung aller Alternativen.

2.6.7 Entscheidungshilfe bei multiattributiven Alternativen unter Unsicherheit

Ob in einer konkreten Entscheidungssituation eines der hier beschriebenen Modelle für die Nutzenbestimmung multiattributiver Alternativen im Fall von Unsicherheit über die Konsequenzen anwendbar ist, hängt von der Präferenzstruktur des Entscheiders ab. Deshalb ist folgende dreistufige Überprüfung sinnvoll:

(1) In einem ersten Schritt ist zu prüfen, ob jedes einzelne Attribut nutzenunabhängig vom jeweiligen Komplement ist. Ist dies erfüllt, kann man entsprechend Schritt (2) weiter verfahren. Ist dies nicht erfüllt, gilt keines der hier behandelten Modelle. Da die Nutzenunabhängigkeit keine strenge bzw. nur selten erfüllte Bedingung hinsichtlich der Präferenzstruktur darstellt, ist es aussichtsreich, mit Hilfe einer Modifikation der Attribute dieser Bedingung zu genügen. Darüber hinaus kann geprüft werden, ob die Nutzenunabhängigkeit und/oder die Präferenzunabhängigkeit zumindest für eine Teilmenge der Attribute gilt und auf dieser Basis eine dekomponierte Bewertung erstellt werden kann. Spezielle Modelle hierzu werden in Farquhar (1981) bzw. Keeney und Raiffa (1976) erläutert.

(2) Gilt (1), so ist in einem zweiten Schritt zu prüfen, ob die *wechselseitige* Nutzenunabhängigkeit gilt. Diese Bedingung ist erfüllt, sofern die Nutzenunabhängigkeit auch für das Komplement der einzelnen Attribute gilt. Gilt die wechselseitige Nutzenunabhängigkeit, kann entsprechend (3) weiter verfahren werden. Gilt sie nicht, ist zumindest das multilineare Modell angemessen, und sofern zusätzliche Bedingungen der Nutzenunabhängigkeit und/oder Präferenzunabhängigkeit für einen Teil der Attribute über die Forderungen in (1) hinausgehend zutreffen, kann das multilineare Modell gegebenenfalls vereinfacht werden.

(3) Gelten (1) und (2), ist in einem letzten Schritt zu prüfen, ob zusätzlich additive Nutzenunabhängigkeit gegeben ist. Hierzu muß die Summe der Gewichte, $\sum_j w_j$, Eins ergeben. Ist diese Bedingung erfüllt, gilt das additive Modell, sonst das multiplikative Modell.

Das schrittweise überprüfen von immer restriktiveren Anforderungen an die Präferenzstruktur führt schließlich zur Wahl eines angemessenen Aggregations-

modells, welches dann im Sinne einer Entscheidungshilfe eingesetzt werden kann: Es müssen - in Abhängigkeit vom Modell - z.B. nur für die in Abbildung 14 spezifizierten hypothetischen Alternativen Bewertungen erhoben werden, aus denen Bewertungen für alle anderen denkbaren Alternativen abgeleitet werden können.

In bezug auf das multiplikative Modell sei noch eine Bemerkung hinsichtlich der inhaltlichen Bedeutung der Gewichte w_j und des hieraus resultierenden Skalenfaktors w angefügt. Für das multiplikative Modell ergeben sich in Abhängigkeit von der Summe der Gewichte folgende Eigenschaften:

$\sum_j w_j < 1$ genau dann, wenn $w > 0$: das Modell ist konjunktiv;

$\sum_j w_j = 1$ genau dann, wenn $w = 0$: das Modell ist additiv;

$\sum_j w_j > 1$ genau dann, wenn $w < 0$: das Modell ist disjunktiv.

Hiernach kann in bezug auf das multiplikative Modell unterschieden werden, ob es konjunktive, additive oder disjunktive Eigenschaften aufweist. Konjunktive Modelle zeichnen sich dadurch aus, daß sie zu einer Bevorzugung von Alternativen führen, die gleichzeitig auf allen Attributen einen gewissen Standard erreichen; dies bedeutet eine Vermeidung von Alternativen mit einer hohen Varianz hinsichtlich der Güte der Konsequenzen auf den verschiedenen Attributen. Das Gegenstück hierzu sind disjunktive Modelle. Sie haben die Eigenschaft, daß Alternativen insbesondere dann gut bewertet werden, wenn sie zumindest auf einem der Attribute zu sehr guten Konsequenzen führen; hier werden Alternativen mit einer hohen Variation hinsichtlich der Güte der Konsequenzen in den verschiedenen Attributen bevorzugt. Somit kann aus der Summe der Gewichte bzw. dem Skalierungsfaktor w auf die kompensatorischen Eigenschaften des Modells geschlossen werden. Ist $w = 0$, zeichnen sich die Bewertungen für Alternativen durch konstante kompensatorische Eigenschaften aus: Unterschiede auf der Nutzenskala eines Attributs werden-unabhängig von der Höhe, in der sie auftreten-durch die gleichen, hierzu korrespondierenden Unterschiede auf anderen Attributen kompensiert. Ist $w > 0$ und gilt das disjunktive Modell, sind gleiche Unterschiede auf der Nutzenskala eines Attributs insbesondere im oberen Bereich schwer zu kompensieren, und umgekehrt gilt für das konjunktive Modell mit $w < 0$, daß Unterschiede auf der Nutzenskala insbesondere im unteren Bereich schwer zu kompensieren sind.

Die hier als Spezialfall des multiplikativen Modells definierten konjunktiven und disjunktiven Modelle haben konjunktive bzw. disjunktive Eigenschaften in um so stärkerer Weise, je weiter w von Null abweicht. Gegenüber anderen Versionen konjunktiver und disjunktiver Modelle weisen sie verschiedene Vorteile auf: Sie verfügen über tendenziell gleiche Eigenschaften wie das in 2.5.2 beschriebene konjunktive und disjunktive Entscheidungskriterium, doch wir-

ken diese Eigenschaften hier graduell und kontinuierlich; sie bedingen insbesondere keine Ausschlußentscheidung für eine der Alternativen an einer in gewisser Weise willkürlichen Grenze. Vergleicht man sie mit dem konjunktiven und disjunktiven Modell von Einhorn (1970, 1971), so liegen die Vorteile darin, daß die hier betrachteten Modelle explizit auf die Präferenzen des Entscheiders ausgerichtet sind. Für eine Diskussion verschiedener Modelle siehe auch Pras (1978) und Pras und Summers (1978).

Eine Diskussion von Konzepten zur Unabhängigkeit von Nutzen findet man etwa bei Farquhar (1977, 1980), Fischer (1976, 1977), Fishburn (1965), Fishburn und Keeney (1975), v. Winterfeldt (1980a), v. Winterfeldt und Fischer (1975); eine Darstellung konkreter Vorgehensweisen zu ihrer Überprüfung geben Keeney (1971, 1972, 1974), Keeney und Raiffa (1976) und Keeney und Sichermann (1976).

Die dargestellten Verfahrensweisen erwiesen sich in einer Reihe konkreter Entscheidungssituationen als sinnvoll, d. h., sie standen mit der Präferenzstruktur des Entscheiders in Einklang, so z.B. im Zusammenhang mit der Einführung eines Luftverschmutzungs-Kontrollsystems (Ellis & Keeney, 1972), der Standortfrage eines Flugplatzes (de Neufville & Keeney, 1972), der Behandlung von Heroin-Abhängigen (Moore, 1973), der Schwere von Traumata (Fryback & Keeney, 1981) und dem Lachsbestand eines Flusses (Keeney, 1976).

Ähnlich der Bewertung von Alternativen im Fall sicherer Konsequenzen können für den Fall unsicherer Konsequenzen die notwendigen Schritte zur Entscheidungsfindung zusammengestellt werden. Dabei sind die Schritte 6-12 aus der Aufstellung in 2.5.5.3 zu modifizieren. Solange Alternativen betrachtet werden, deren Konsequenzen nicht sicher vorhergesagt werden können, sind Nutzenfunktionen sowie die Gewichte unter Berücksichtigung von Unsicherheit zu erheben und es sind je nach der Erfüllung von Forderungen hinsichtlich der Nutzenunabhängigkeit verschiedene Modelle angemessen.

Solche Prozeduren zur Bewertung von Alternativen mit dem Ziel der Entscheidungsfindung scheinen insbesondere dann angemessen zu sein, wenn die Unsicherheit hinsichtlich der pro Attribut auftretenden Konsequenz groß ist und Nutzenfunktionen stark von der Risikoneutralität abweichen.

2.6.8 Die Abwägung zwischen risikolosen und risikobehafteten Bewertungen multiattributiver Alternativen

Verfahren der Bewertung multiattributiver Alternativen bei Unsicherheit über die Konsequenzen in der hier dargestellten Weise sind abhängig davon, daß der Entscheider eine klare Vorstellung mit den verschiedenen hypothetischen Alternativen verbindet und seine Präferenzen in Form von „Lotterien“ aus-

drücken kann. Da dies nicht immer gewährleistet zu sein scheint, ist zu überlegen, ob der Nutzen der Konsequenzen nicht auch ohne Berücksichtigung der Risikokomponente erhoben werden kann und ob diese anschließend durch eine Transformation der ursprünglichen Nutzenbewertung einbezogen werden kann. In diesem Sinn sind beispielsweise die Bemühungen von v. Winterfeldt (1979) und v. Winterfeldt, Barron und Fischer (1980) zu sehen, deren Ausgangspunkt die funktionalen Beziehungen zwischen den Nutzenmessungen mit und ohne Risikobezug entsprechend den theoretischen Überlegungen von Dyer und Sarin (1979) und empirischen Befunde von Fischer (1977) sind.

Zum momentanen Stand der Forschung in bezug auf die Nutzenmessung der Alternativen mit und ohne Risikobezug ist anzumerken, daß deren Relation zueinander noch nicht hinreichend geklärt scheint. Dies wird deutlich in Fällen, wo risikobehaftete und risikolose Nutzenmessung der Alternativen ineinander übergehen und gleiche Bewertungen zu erwarten wären, aber nicht eintreten: Konvergiert die mit den Alternativen verbundene Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenzen z.B. gegen Null, so folgt daraus nicht, daß die risikobehaftete gegen die risikolose Nutzenmessung konvergiert.

Ausgehend von dieser Diskrepanz ist zu überlegen, welches Risiko bei der risikobehafteten Nutzenmessung eigentlich berücksichtigt wird, wenn die Alternativen selbst keine Unsicherheit aufweisen. Überlegungen dieser Art stellen in Frage, ob das in Zusammenhang mit Alternativen erlebte Risiko korrespondiert mit dem Risiko, welches über das Lotterieverfahren bei der risikobehafteten Nutzenmessung in die Bewertung der Alternativen eingeht. Das mit verschiedenen Alternativen verbundene Risiko hängt mit der Variabilität ihrer möglichen Konsequenzen zusammen, doch auf welche Maßeinheit diese Variabilität sinnvoll zu beziehen ist, ist nicht geklärt. Das Lotterieverfahren legt beispielsweise mit der schlechtesten und besten Konsequenz eine solche Maßeinheit fest, aber es liegen kaum Befunde darüber vor, welchen Einfluß verschiedene Maßeinheiten auf eine Bewertung der Alternativen haben (siehe jedoch Gabrielli & v. Winterfeldt, 1978; Kryzstofowicz & Duckstein, 1980). Es erscheint naheliegend, das in eine Alternativenbewertung eingehende Risiko pro Attribut auf den Bereich zu beschränken, in dem Konsequenzen dieser Alternative für wahrscheinlich gehalten werden. Folgte man diesem Vorschlag, würde eine risikobehaftete Nutzenmessung gegen eine risikolose konvergieren für den Fall, daß die den Alternativen zugeordneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen über die möglichen Konsequenzen eines Attributs immer enger werden.

Zusammenfassend ergibt sich: Verfahren der Nutzenmessung ohne Risikobezug (entsprechend 2.5) sollten eingesetzt werden, solange pro Alternative die Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenz in einem Attribut klein ist im Vergleich zu der Unterschiedlichkeit der Alternativen selbst in diesem Attribut. Verfahren der risikobehafteten Nutzenmessung (entsprechend 2.6) sollten insbesondere dann angewendet werden, wenn 1. die Unsicherheit hinsichtlich

der Konsequenzen einer Alternativen so groß ist, daß verschiedene Alternativen sich in den interessierenden Attributen weit überlappen, und 2. ein wichtiges Ziel darin liegt, die Gefahr bestimmter schlechter Konsequenzen zu vermeiden (risikoaversive Nutzenfunktionen und/oder konjunktives Modell) bzw. die Chancen für spezifische, besonders gute Konsequenzen zu bewahren (risikofreudige Nutzenfunktionen und/oder disjunktives Modell).

2.7 Wahrscheinlichkeit und probabilistische Informationsverarbeitung

Entscheidungen erfordern vielfach Erwägungen über Ereignisse, die in der Zukunft liegen und über die zum Zeitpunkt der Entscheidung Unsicherheit herrscht. Daher sind Wahrscheinlichkeitsüberlegungen im Zusammenhang mit Entscheidungen von zentraler Bedeutung. Dieser Abschnitt befaßt sich mit dem Wahrscheinlichkeitsaspekt von Ereignissen: Der Definition und Erhebung von Wahrscheinlichkeiten, der Bewertung von Wahrscheinlichkeitsschätzungen sowie der Verarbeitung wahrscheinlichkeitsmäßig gegebener Informationen.

2.7.1 Definition der Konzepte Wahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsverteilung

Mit dem Begriff der Wahrscheinlichkeit ist zunächst nur eine theoretische Größe definiert, die einzelnen Ergebnissen aus einer Menge von Ereignissen zugeordnet wird. Dabei definieren die folgenden Axiome, die auf Kolmogoroff (1933) zurückgehen, eine Wahrscheinlichkeitsfunktion P von der Menge der Ereignisse in die Menge der reellen Zahlen:

- Nicht-Negativität: Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses E_i ist nicht negativ, d.h. $P(E_i) \geq 0$.
- 2) Normiertheit: Die Wahrscheinlichkeit des sicheren Ereignisses ist gleich Eins, d. h., die Wahrscheinlichkeit für das alle einzelnen Ereignisse umfassende Ereignis ist: $P(\cup_i E_i) = 1$.
- 3) Additivität: Die Wahrscheinlichkeit von zwei sich wechselseitig ausschließenden Ereignissen ist gleich der Summe ihrer Einzelwahrscheinlichkeiten, d. h. falls $P(E_i \cap E_j) = 0$, gilt: $P(E_i \cup E_j) = P(E_i) + P(E_j)$.

Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind für Äquivalenzklassen definiert, d. h. für Klassen, die eine Partition (Zerlegung) des Ereignisraums darstellen. Eine Menge von Ereignissen $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n$ stellt eine solche Partition dar, sofern die Ereignisse wechselseitig ausschließend ($P(E_i \cap E_j) = 0$ für $i \neq j$) und erschöpfend ($P(\cup_i E_i) = 1$) sind. Werden diesen Ereignissen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet, so ist

$$P(E_1), P(E_2), \dots P(E_i), \dots P(E_n)$$

eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Jede Festlegung einer Wahrscheinlichkeitsfunktion, die eine Menge von sich wechselseitig ausschließenden und erschöpfenden Ereignissen als Definitionsbereich hat, ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Aus den Axiomen folgt:

$$\sum_i P(E_i) = 1.$$

2.7.2 Wahrscheinlichkeitsinterpretation

Während die mathematische Fassung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs unkontrovers ist, gilt dies nicht für die Interpretation dieses Begriffs. Will man das mathematische Kalkül sinnvoll auf konkrete inhaltliche Sachverhalte anwenden, so muß man definieren, was man unter dem Konzept „Wahrscheinlichkeit“ verstehen will. Dazu existieren sehr unterschiedliche Auffassungen.

(1) *Die logische Interpretation von Wahrscheinlichkeit.* Die logische Interpretation von Wahrscheinlichkeit begreift Wahrscheinlichkeit als eine logische Relation zwischen Sätzen oder Aussagen. Hiernach sind „Wahrscheinlichkeiten“ Eigenschaften, die Objekten zugewiesen werden und damit die Objekte charakterisieren. Einfachste Beispiele dieser Art sind Münzwurf, Roulette oder Lotto. Die logische Interpretation von Wahrscheinlichkeit führt in vielen Situationen zu vernünftigen Aussagen und Schlußfolgerungen, ist aber in bezug auf viele andere Situationen nicht anwendbar; Wahrscheinlichkeiten für Sachverhalte wie „morgen wird es regnen“ sind erst möglich, wenn alle Einflußgrößen und deren Wirkung genau bekannt und Wahrscheinlichkeiten daraus logisch ableitbar sind. Vertreter des logischen Standpunktes sind vor allem Carnap (z. B. 1950), Russell (1948) und mit Einschränkungen Jeffreys (1961) und Keynes (1962).

(2) *Die frequentistische Interpretation.* In der frequentistischen Sichtweise ist eine Wahrscheinlichkeit theoretisch zwar der Grenzwert relativer Häufigkeiten, praktisch aber die relative Häufigkeit selbst, da sich der Grenzwert auf unendlich viele Beobachtungen bezieht und damit nicht feststellbar ist. Diese Interpretation stellt eine Beziehung des Konzepts Wahrscheinlichkeit zu empirischen Sachverhalten her, ist praktikabel und in einer Vielzahl von Situationen anwendbar. Grundannahme ist jedoch, daß Versuche oder Prozesse, die eine relative Häufigkeit liefern, unabhängig voneinander und hinreichend ähnlich zueinander beliebig häufig wiederholbar sind. Eben hierin sehen Kritiker ihre Zweifel an dem Konzept begründet; Vertreter des frequentistischen Wahrscheinlichkeitsbegriffs sind z.B. v. Mises (1939), Reichenbach (1949) und ein Großteil der mathematischen Statistiker wie z.B. Fisher (1950) oder Cramer (1954).

(3) *Die subjektivistische Interpretation.* In subjektivistischer Sichtweise wird Wahrscheinlichkeit als subjektiver Überzeugungsgrad (degree of belief) kon-

zeptualisiert. Hierbei handelt es sich um eine kognitive Größe, welche sich auf die Bewertung der Unsicherheit oder den Grad des Für-Wahr-Haltens von Ereignissen oder Aussagen bezieht. In subjektivistischer Sicht ist Wahrscheinlichkeit ein deskriptives Maß, welches die Erwartungen bzw. Überzeugungen von Personen beschreibt. Aussagen über die formale Rationalität von Personen können im Rahmen der Theorie der subjektiven Wahrscheinlichkeit empirisch überprüft werden. Überlegungen dieser Art gehen auf de Finetti (1970), Scott und Suppes (1958) und Suppes und Zinnes (1963) zurück und sind in Krantz, Luce, Suppes und Tversky (1971) und de Zeeuw und Wagenaar (1974) zusammenfassend dargestellt. Während manche Autoren einfach von subjektiven Wahrscheinlichkeiten sprechen, unterscheiden andere, z.B. Lee (1971) und Stegmüller (1973), zwischen subjektiven und personellen Wahrscheinlichkeiten. Hierbei ist die personelle Wahrscheinlichkeit die um Inkonsistenzen bereinigte subjektive Wahrscheinlichkeit.

Zu den verschiedenen Interpretationen von Wahrscheinlichkeit sowie der Kontroverse, die sich zwischen ihren jeweiligen Vertretern entfacht hat, siehe Stegmüller (1973) und zusammenfassend Jungermann (1976). Wiewohl die frequentistische Interpretation in ihrer theoretischen Begründung nicht haltbar ist, wird sie doch in den empirischen Wissenschaften am häufigsten verwandt; die Wahrscheinlichkeits-Aussagen werden dabei oft als „objektive“ Aussagen über die Welt verstanden. Die subjektivistische Interpretation wird demgegenüber in ihrer Fundierung theoretischen Anforderungen gerecht, doch sind hier die Wahrscheinlichkeits-Aussagen auf die sie treffenden Subjekte zu relativieren.

Insgesamt scheint es nicht zwingend, an der scharfen Trennung zwischen „subjektiv“ und „objektiv“ festzuhalten. Vielmehr kann man Wahrscheinlichkeitsaussagen sowohl als etwas begreifen, das Informationen über Personen und deren Sichtweise gibt, als auch Aussagen darunter verstehen, die intersubjektiv gültige Sachverhalte der Welt benennen; hierbei mag das Verhältnis von objektiven und subjektiven Momenten variieren.

In konkreten Entscheidungssituationen ist deshalb zu überlegen, woher Wahrscheinlichkeitsinformationen zu beziehen sind. Dabei können ebenso wie Daten aus Statistiken auch Wahrscheinlichkeitsschätzungen von Experten verwendet werden und - im Verhältnis zur Nichtberücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten - die Entscheidung verbessern.

2.7.3 Die Erhebung subjektiver Wahrscheinlichkeiten und subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Werden Wahrscheinlichkeiten für zukünftige Ereignisse benötigt und liegen keine brauchbaren Statistiken vor, aus denen man diese im Sinne relativer

Häufigkeiten entnehmen kann, stellt sich die Frage, inwieweit sie sich als subjektive Wahrscheinlichkeiten erheben lassen. Die Zuordnung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten zu Ereignissen (z. B. als Vorhersage der Wahrscheinlichkeit von Konsequenzen) ist eine psychometrisch schwierige Aufgabe. Obwohl unsere Sprache eine Vielzahl von Wahrscheinlichkeitsbenennungen enthält (z. B. vielleicht, höchstwahrscheinlich, kaum, ziemlich sicher etc.), fällt eine Übersetzung dieser qualitativen und vieldeutigen Ausdrücke in Zahlen, die als Wahrscheinlichkeiten interpretiert werden können, schwer (Lichtenstein & Newmann, 1967; Rohmann, 1978; Stone & Johnson, 1959). Es wurden verschiedene Methoden entwickelt mit dem Ziel, numerische Wahrscheinlichkeitsschätzungen für Ereignisse zu erhalten (Berhold, 1975).

Ähnlich wie bei der Nutzenschätzung kann zwischen direkten und indirekten Methoden unterschieden werden. Bei den direkten Methoden wird unmittelbar nach der Größe der Wahrscheinlichkeit gefragt, wobei meßtheoretische Eigenschaften der Wahrscheinlichkeitsskala als Verhältnisskala nicht überprüft werden. Indirekte Methoden zur Erhebung von Wahrscheinlichkeiten basieren auf Urteilen, die nicht unmittelbar Wahrscheinlichkeitsausdrücke sind, aus denen aber Wahrscheinlichkeiten erschlossen werden können. Bei den indirekten Methoden kann man weiter unterscheiden, ob es sich explizit um meßtheoretisch begründete Verfahren handelt, die zumeist von der Methode des Paarvergleichs ausgehen (siehe Fishburn, 1970; Krantz et al., 1971), oder ob es Verfahren sind, die von der Angemessenheit einer bestimmten Verteilungsform ausgehen und Wahrscheinlichkeiten bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus konjugierten Verteilungen ableiten. Zu den zuletzt genannten Methoden gehören z.B. die HFS-Methode (von „hypothetical future sampling“) und die EPS-Methode (von „equivalent prior sample“ information), beide von Winkler (1967).

Sollen Wahrscheinlichkeiten direkt erhoben werden, bieten sich im Fall von Ereignissen, denen ein Kontinuum zugrunde liegt, die PDF-Methode (von „probability density function“) oder die CDF-Methode (von „cumulative distribution function“) von Winkler (1967), im Fall von diskreten oder diskretisierten Ereignissen die direkten Zuweisungen von Wahrscheinlichkeiten an, wie sie bei Lichtenstein, Fischhoff und Phillips (1977, 1982) beschrieben werden. Diese Verfahren basieren darauf, daß einer Behauptung, z.B. „morgen wird es regnen“, direkt eine Zahl als Wahrscheinlichkeitsschätzung zugewiesen wird.

Im folgenden soll ein Beispiel für die direkte Schätzung subjektiver Wahrscheinlichkeiten und Wahrscheinlichkeitsverteilungen gegeben werden, welches die Übergänge zwischen den verschiedenen methodischen Ansätzen zeigt. Ein Meteorologe mag der Behauptung „morgen wird es regnen“ eine Zutreffens-Wahrscheinlichkeit von $p = 0.30$ zuweisen, welches eine subjektive Wahrscheinlichkeitsschätzung für das Ereignis darstellt. Hieraus resultiert bereits für das Komplementäreignis „morgen wird es nicht regnen“ die Komplementär-

Wahrscheinlichkeit von $p = 0.70$: D.h., jede einzelne Wahrscheinlichkeits-schätzung spezifiziert bereits eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Das mögliche Ereignis „morgen wird es regnen“ kann differenzierter betrachtet werden, und von dem Meteorologen mögen Angaben zu den folgenden Ereignissen erwartet werden: Es wird „0 mm“; „zwischen 0 und 2 mm“; „zwischen 2 und 4 mm“; „zwischen 4 und 6 mm“ regnen. Hier ordnet er jeder Klasse eine subjektive Wahrscheinlichkeit zu, und alle Zuordnungen gemeinsam definieren eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die verschiedenen Ereignisse dieser diskretisierten Variablen. Betrachtet man den Niederschlag als eine kontinuierliche Variable, kann dieser Variablen eine Dichtefunktion zugeordnet werden, und Wahrscheinlichkeiten ergeben sich aus der dem einzelnen Ereignis jeweils zugeordneten Fläche der Dichtefunktion.

Verfahren der direkten Zuweisung von Wahrscheinlichkeiten zu Ereignissen sind für die Urteiler leicht verständlich, haben sich in der Praxis bewährt, und in der Regel ergibt sich eine hohe Konsistenz zu den Wahrscheinlichkeitszuweisungen mittels indirekter, meßtheoretisch fundierter Verfahren (Wallsten, 1977). Verfahren der Erhebung subjektiver Wahrscheinlichkeiten werden in Bunn und Thomas (1975), Hampton, Moore und Thomas (1973), Pfohl (1977) sowie Schütt (1981) zusammenfassend dargestellt.

2.7.4 Die Bewertung subjektiver Wahrscheinlichkeitsschätzungen

Sofern Wahrscheinlichkeiten im Zusammenhang mit einer Entscheidungsfindung eine Rolle spielen, ist die Güte einer Entscheidung unter anderem von der Güte der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsschätzungen abhängig. Wenn für die notwendigen Wahrscheinlichkeitsschätzungen keine brauchbaren Daten etwa in Form von relativen Häufigkeiten vorliegen, sind sie als subjektive Schätzungen zu erheben. Für solche subjektiven Schätzungen ist zu klären, inwieweit sie objektive Sachverhalte beschreiben und damit geeignet sind, als Quantifizierungen von Komponenten in ein Entscheidungsverfahren einzugehen. Im Zusammenhang mit subjektiven Wahrscheinlichkeitsschätzungen sind verschiedene wünschenswerte Eigenschaften angeführt worden, siehe z.B. Lichtenstein, Fischhoff und Phillips (1977), Murphy und Epstein (1967), Winkler und Murphy (1968), Winkler (1969). Faßt man diese Gesichtspunkte zusammen, so erhofft man sich von einem guten Schätzer, (a) daß er in formaler Hinsicht Experte ist, d.h. die Sprache der Wahrscheinlichkeit beherrscht und konsistente Urteile abgibt (normative Güte); (b) daß er in inhaltlicher Hinsicht Experte ist und sein Fachwissen es ihm ermöglicht, informationsreiche Urteile abzugeben (substantielle Güte); und (c) daß er realistisch ist und seine Angaben in Übereinstimmung zu empirischen Sachverhalten stehen und keine systematischen Verzerrungen aufweisen (empirische Güte).

(1) *Normative Güte*. Die Güte im normativen Sinn bezieht sich auf die Konsistenz der vorgenommenen Schätzungen. Hierzu gehören insbesondere die Erfüllung der das Wahrscheinlichkeitskonzept definierenden axiomatischen Bedingungen, soweit sie innerhalb einer Erhebungsmethode überprüfbar sind, sowie, in einem erweiterten Sinn, die Übereinstimmung der Wahrscheinlichkeitsschätzungen, die mittels verschiedener Methoden erhoben wurden. Derartige Konsistenzeigenschaften werden von Barclay und Beach (1972), Beach und Peterson (1966), Schaefer und Borcharding (1973), Schaefer, Borcharding und Lämmerhold (1977), Staël von Holstein (1970) und Winkler (1967) untersucht, und Inkonsistenzen werden auf systematische, urteilsverzerrende Tendenzen bzw. auf die zugrundeliegende Unsicherheit hinsichtlich der zu beurteilenden Sachverhalte selbst zurückgeführt.

(2) *Substantielle Güte*. Die Güte im substantiellen Sinn bezieht sich auf das inhaltliche Fachwissen eines Schätzers hinsichtlich des Sachverhalts, über den er Wahrscheinlichkeitsschätzungen abgeben soll. Wählt man einen „Experten“ als Schätzer, wird das entsprechende Fachwissen prima facie unterstellt. So wird beispielsweise einem Meteorologen hinsichtlich der Regenvorhersage substantielle Güte zugeschrieben, und wir erwarten von ihm eine möglichst präzise Angabe etwa darüber, ob es wohl morgen regnen wird. Präzise heißt in diesem Zusammenhang, daß er hinsichtlich der zu erwartenden Niederschlagsmenge über Vorstellungen verfügt, die in subjektive Wahrscheinlichkeiten übersetzt zu einer subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung mit einer vergleichsweise kleinen Varianz führen.

(3) *Empirische Güte*. Gemäß diesem Kriterium sollen Wahrscheinlichkeitsschätzungen mit empirischen Sachverhalten korrespondieren; dieser Aspekt wird in anderem Kontext auch als „Realismus“, „Eichung“ bzw. „empirische Validierung“ bezeichnet. So wird gefordert, daß die subjektiven Wahrscheinlichkeiten, die ein Schätzer möglichen Zuständen, Behauptungen, Ereignissen zuordnet, mit den relativen Häufigkeiten, mit denen sich diese als „wahr“ bzw. zutreffend erweisen, übereinstimmen. Geht man von einer Vielzahl von Behauptungen wie z.B. „morgen wird es regnen“ aus, von denen jede einzelne sich entweder als falsch erweisen wird, und wählt man hieraus all diejenigen, denen ein Schätzer die gleiche subjektive Wahrscheinlichkeit von z.B. $p = 0.40$ zugewiesen hat, so sollten sich von diesen 40 % als wahr bzw. zutreffend erweisen. Die Beurteilung des Realismus von subjektiven Wahrscheinlichkeitsaussagen erfordert somit, daß viele Schätzungen vorliegen und daß bekannt ist oder wird, welche Aussagen sich bewahrheiten. Empirische Ergebnisse zum Realismus von Wahrscheinlichkeitsschätzungen haben durchweg gezeigt, daß Personen dazu neigen, ihr Wissen zu überschätzen und unangemessen extreme Wahrscheinlichkeitsangaben zu machen. Die Befunde hierzu führen in bezug auf diskrete subjektive Wahrscheinlichkeitsschätzungen Lichtenstein, Fischhoff und Phillips (1977, 1981) an, in bezug auf kontinuierliche subjektive Wahrscheinlichkeitsschätzungen Alpert und Raiffa (1969), Schaefer und Borcharding (1973) und Seaver, v. Winterfeldt und Edwards (1978) an. Zusammen-

fassungen geben Chesley (1975, 1978), Hogarth (1975), Ludke, Stauss und Gustafson (1977), Schütt (1981), Spetzler und Staël von Holstein (1975) und Wallsten und Budescu (1980). Nimmt man als Ursache für die zu extremen Wahrscheinlichkeitsschätzungen einen falschen Skalengebrauch an, so kann durch eine Reskalierung der Wahrscheinlichkeitsurteile dieser Fehler behoben oder reduziert werden. Dies versuchen Ferrell und McGoey (1980) über einen Signalerkennungs-Ansatz. Eine andere Möglichkeit, realistische Wahrscheinlichkeitsschätzungen zu erhalten, liegt in der Anwendung eines geeigneten Trainingsverfahrens; siehe hierzu Lichtenstein und Fischhoff (1980), Schaefer (1976b) und Schaefer und Borchering (1973).

Mit den sog. „*Proper Scoring Rules*“ sind Klassen von Verfahren zur globalen Bewertung von subjektiven Wahrscheinlichkeitsschätzungen entwickelt worden, in welche die drei oben genannten Kriterien gleichzeitig eingehen. Ausgehend von subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilungen wird dabei einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit von dem konkret eintretenden Ereignis ein Wert (Score) zugeordnet, welcher der Güte der Schätzung entspricht. Dabei ist gewährleistet, daß ein Schätzer seinen zu erwartenden Score maximiert, wenn er seine „wahre“ Meinung wiedergibt; andere Antwortstrategien verschlechtern den Score nur. Es wurden insbesondere die logarithmische, die quadratische und die sphärische Scoring Rule sowie der „*Ranked Probability Score*“ diskutiert und angewendet, wobei man sich von einer Honorierung der Wahrscheinlichkeitsschätzer proportional zum Score einer *Proper Scoring Rule* versprach, Schätzer zu „wahren“ Wahrscheinlichkeitsschätzungen zu bewegen. Die Entwicklung dieser Konzepte geht auf deFinetti (1962, 1965), van Naerssen (1962), Shuford, Albert und Massengill (1966), Staël von Holstein (1977) zurück; zusammenfassende Darstellungen geben Schaefer (1976a) sowie Staël von Holstein (1970). Konkrete Anwendungen haben die hohen Erwartungen in dieses Konzept nicht bestätigt, was zum Teil auf die geringe Differenzierungsfähigkeit der Scores im oberen Bereich zurückzuführen ist (v. Winterfeldt & Edwards, 1982).

Bei Überlegungen zur Güte von Wahrscheinlichkeitsschätzungen ist ebenso zu berücksichtigen, in welcher Weise sie in der Entscheidungsfindung verarbeitet werden. Dies führt zur differentiellen Nutzung der genannten Gütekriterien: In Abhängigkeit von der spezifischen Entscheidungssituation - d. h. den betrachteten Komponenten bzw. Sachverhalten, dem Kontext usw. - werden unterschiedliche Bewertungsaspekte für die subjektiven Wahrscheinlichkeitsschätzungen relevant (Borchering, 1978; Schaefer, 1976b).

2.7.5 Probabilistische Informationsverarbeitung

2.7.5.1 Einführung

In vielen Entscheidungssituationen erweisen sich Alternativen in Abhängigkeit vom situativen Kontext - dem speziellen Zustand - als unterschiedlich gut (vgl.

die Entscheidungs-Matrix in 2.1.4), und eine Entscheidung für eine der Alternativen wäre wesentlich einfacher, wenn der dann geltende Zustand der Welt im voraus bekannt wäre. Von daher besteht in solchen Entscheidungssituationen ein wichtiges Ziel darin, Informationen zu sammeln, welche die Unsicherheit hinsichtlich des Eintretens der verschiedenen für möglich gehaltenen Zustände reduzieren. Dabei sind Informationen, welche die Gültigkeit eines bestimmten Zustandes beweisen bzw. einen Teil der Zustände sicher ausschließen, besonders wünschenswert und leicht zu verarbeiten. Schwierig wird es, wenn die einzelnen Informationen nur probabilistische Rückschlüsse auf die Gültigkeit der verschiedenen Zustände gestatten und gleichzeitig viele solcher Informationen vorliegen, die zu einer Wahrscheinlichkeitsaussage für die einzelnen Zustände aggregiert werden müssen.

Im folgenden wird von dem allgemeinen Fall ausgegangen, daß Informationen probabilistische Rückschlüsse auf die Wahrscheinlichkeit von Zuständen gestatten, und es wird ein präskriptives Modell - das Bayes-Modell - zur Verarbeitung probabilistischer Informationen dargestellt.

2.7.5.2 Das Bayes-Theorem als Aggregationsmodell

Das Bayes-Theorem in seiner einfachsten Form folgt aus dem Multiplikationssatz der Wahrscheinlichkeit, wonach für zwei Ereignisse A und B gilt:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A) \quad \text{sowie}$$

$$P(A \cap B) = P(B) \cdot P(A|B):$$

Aus dem Gleichsetzen der beiden rechten Seiten folgt dann das Bayes-Theorem:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

Zunächst soll die Schreibweise des Bayes-Theorems der hier zu behandelnden Problemstellung angepaßt werden. Folgende drei Klassen von Variablen sollen betrachtet werden:

1. Die Menge der möglichen Zustände, auch Hypothesen, H, mit den speziellen Hypothesen H_i , $i = 1, \dots, n$.
2. Die Menge der relevanten Daten- oder Informationsquellen **D** mit den Quellen D_j , $j = 1, \dots, m$.
3. Das konkret auftretende Ereignis d, einer Informationsquelle D_j .

Es resultiert das Bayes-Theorem in der folgenden Form:

$$P(H_i|d_j) = \frac{P(d_j|H_i) \cdot P(H_i)}{P(d_j)} \quad (10)$$

Dabei bedeutet:

- $P(H_i)$ die Apriori-Wahrscheinlichkeit der Hypothese H_i vor Beobachtung der Quelle D_j ;
- $P(d_j)$ die Auftretenswahrscheinlichkeit des speziellen Ereignisses d_j der Quelle D_j ;
- $P(d_j|H_i)$ die Auftretenswahrscheinlichkeit des speziellen Ereignisses d_j unter der Bedingung, daß H_i gilt. Diese bedingte Wahrscheinlichkeit wird als Likelihood bezeichnet;
- $P(H_i|d_j)$ Posteriori-Wahrscheinlichkeit der Hypothese H_i , nachdem das Ereignis d_j aufgetreten ist.

Gleichung (10) spezifiziert, wie die Apriori-Wahrscheinlichkeit $P(H_i)$ durch das Auftreten von d_j in die Posteriori-Wahrscheinlichkeit $P(H_i|d_j)$ transformiert wird.

Werden mehrere Informationsquellen gleichzeitig beobachtet, so kann das spezielle Ereignis-Muster der m Quellen d_1, d_2, \dots, d_m gewissermaßen als ein Superdatum betrachtet werden, und es ergibt sich für die Posteriori-Wahrscheinlichkeit :

$$P(H_i|d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m) = \frac{P(d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m|H_i) \cdot P(H_i)}{P(d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m)} \quad (11)$$

Die Posteriori-Wahrscheinlichkeit resultiert also nach einer Vielzahl von vorliegenden Ereignissen entsprechend Gl. (11) aus der Apriori-Wahrscheinlichkeit. Dabei sind die für eine Revision notwendigen Likelihoods der Art $P(d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m|H_i)$ sowie die Wahrscheinlichkeiten $P(d_1 | d_2 | \dots | d_m)$ nur schwer zu erheben: Sie erfordern die gleichzeitige Berücksichtigung von $m + 1$ bzw. m Variablen, und selbst wenn eine Datenbasis vorliegen sollte, wird sie kaum ausreichend groß sein, um diese Wahrscheinlichkeiten hieraus als relative Häufigkeiten ableiten zu können; sofern hierfür subjektive Schätzungen zugrundegelegt werden sollen, dürfte die menschliche Informationsverarbeitungskapazität überfordert sein. Deshalb ist zu fragen, ob es Bedingungen gibt, die zu einer Vereinfachung von Gl. (11) führen, ohne empirisch unangemessen zu sein. Dazu wird vielfach vom Fall der bedingten Unabhängigkeit ausgegangen. D. h., Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der verschiedenen möglichen Ereignisse d_j sind abhängig von den jeweils geltenden Hypothesen, hingegen unabhängig von den speziell aufgetretenen Ereignissen anderer Datenquellen. Wird die bedingte Unabhängigkeit vorausgesetzt, vereinfacht sich Gl. (11) zu:

$$P(H_i|d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m) = \frac{P(d_1|H_i) P(d_2|H_i) \dots P(d_m|H_i) \cdot P(H_i)}{P(d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m)}$$

$$= \frac{\prod_{j=1}^m P(d_j|H_i) \cdot P(H_i)}{P(d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m)} \tag{12}$$

Fordert man weiter, daß die Hypothesen Äquivalenzklassen darstellen, d.h., sich wechselseitig ausschließen und erschöpfend sind, kann der Satz der totalen Wahrscheinlichkeit angewendet werden, und die Wahrscheinlichkeit der Ereigniskombination im Nenner von Gl. (12) kann aus einfacheren Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Es resultiert:

$$P(H_i|d_1 \cap d_2 \cap \dots \cap d_m) = \frac{\prod_{j=1}^m P(d_j|H_i) \cdot P(H_i)}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m P(d_j|H_i) \cdot P(H_i)} \tag{13}$$

Entsprechend Gl. (13) sind neben den Apriori-Wahrscheinlichkeiten $P(H_i)$ nur Likelihoods der Art $P(d_j|H_i)$ für alle i und j zu ermitteln, damit die Posteriori-Wahrscheinlichkeit berechnet werden kann. Alle hierfür notwendigen Informationen sind in einer Likelihoodmatrix entsprechend der in Tabelle 5 dargestellten spezifiziert.

Tabelle 5: Die Likelihood-Matrix

		Hypothesen					Apriori-Wkt.
		H_1	...	H_i	...	H_n	
		$P(H_1)$		$P(H_i)$		$P(H_n)$	
Datenquellen	D_1	$P(d_1|H_1)$	...	$P(d_1|H_i)$	...	$P(d_1|H_n)$	
	D_2	$P(d_2|H_1)$	...	$P(d_2|H_i)$	...	$P(d_2|H_n)$	
	
	
	
	D_j	$P(d_j|H_1)$	...	$P(d_j|H_i)$	...	$P(d_j|H_n)$	
	
	
D_m	$P(d_m|H_1)$	...	$P(d_m|H_i)$	...	$P(d_m|H_n)$		
		$P(H_1|d_1 \dots d_m)$		$P(H_i|d_1 \dots d_m)$		$P(H_n|d_1 \dots d_m)$	Posteriori-Wkt.

Die Posteriori-Wahrscheinlichkeiten spezifizieren die Wahrscheinlichkeit dafür, daß bestimmte Zustände eintreten werden, wobei alle vorliegenden Infor-

mationen berücksichtigt werden. Neben der hier dargestellten Schreibweise für die Posteriori-Wahrscheinlichkeiten ist auch häufig die sogenannte „odds“-Schreibweise anzutreffen, in welcher das Verhältnis von zwei Hypothesen zueinander betrachtet wird; siehe Edwards, Lindman und Savage (1963) sowie als Zusammenfassung Schaefer (1976a).

2.7.5.3 Die Bedeutung des Bayes-Theorems

Das Bayes-Theorem als normatives Modell probabilistischer Informationsverarbeitung spezifiziert, wie Apriori-Wahrscheinlichkeiten durch die Beobachtung von Daten zu Posteriori-Wahrscheinlichkeiten zu revidieren sind. Während die multiattributive Nutzentheorie Informationen hinsichtlich der Güte der Alternativen zusammenfaßt, aggregiert das Bayes-Theorem Informationen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit von Zuständen. In vielen Entscheidungssituationen ist es geradezu notwendig, Wahrscheinlichkeiten und Nutzen gemeinsam zu betrachten und miteinander zu verknüpfen - siehe hierzu insbesondere 2.8. Betrachtet man hier zunächst den Wahrscheinlichkeitsaspekt, so liegt ein kritisches Problem darin, wie die Apriori-Wahrscheinlichkeiten, welche ja alle vorausgehenden Informationen bezüglich der Wahrscheinlichkeit von Zuständen zusammenfassen, zu ermitteln sind. Sofern sich hierfür keine Lösung anbietet, schlug bereits Bayes (1763) vor, von einer Gleichverteilung als Apriori-Wahrscheinlichkeitsverteilung auszugehen und bei n möglichen Zuständen jedem einzelnen eine Apriori-Wahrscheinlichkeit von $1/n$ zuzuordnen; wie Edwards, Lindman und Savage (1963) gezeigt haben, werden die Posteriori-Wahrscheinlichkeiten bei hinreichend diagnostischen Daten nicht gravierend durch verschiedene Apriori-Wahrscheinlichkeitsverteilungen beeinflusst.

In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß auch bei der statistischen Entscheidungstheorie ein zentrales Problem darin liegt, Wahrscheinlichkeiten für das Zutreffen verschiedener statistischer Hypothesen unter Berücksichtigung bestimmter Stichprobenergebnisse zu ermitteln. Ein Hauptunterschied zwischen der bayesianischen und der klassischen statistischen Entscheidungstheorie liegt darin, daß die Bayes-Statistik 1. Apriori-Wahrscheinlichkeiten explizit berücksichtigt und 2. Posteriori-Wahrscheinlichkeiten für alle möglichen Hypothesen und nicht nur für spezifische wie die Nullhypothese oder einzelne scharfe Alternativhypothesen ermittelt werden. Beim Vergleich der klassischen und der Bayes-Statistik kann nach den Apriori-Wahrscheinlichkeiten gesucht werden, unter denen beide zu vergleichbaren Ergebnissen hinsichtlich der Schlußfolgerungen für die Hypothesen führen, siehe hierzu speziell Borchering und Schaefer (1975). Ausführlichere Darstellungen geben Kleiter (1981), Wendt (1983) und Winkler (1972).

Rückt man die menschliche Informationsverarbeitung in den Vordergrund und betrachtet speziell Revisionen von Wahrscheinlichkeitsschätzungen aufgrund neuer Informationen, so ist als wesentliches - schon in 2.1.2 erörtertes -

Forschungsergebnis festzustellen, daß Menschen unzureichende Informationsverarbeiter insbesondere dadurch sind, daß sie Apriori-Wahrscheinlichkeiten nur unzureichend berücksichtigen und neue Informationen in zu geringem Maße in Revisionen von Wahrscheinlichkeitsurteilen umsetzen; letzteres wird auch als Konservatismus-Effekt bezeichnet; siehe z.B. Peterson, Schneider und Miller (1965); Phillips und Edwards (1966) sowie zusammenfassend Schaefer (1976a) und Slovic und Lichtenstein (1971). In Anbetracht derartiger Urteilsfehler schlug Edwards (1962), siehe auch Edwards und Phillips (1964), Edwards, Phillips, Hays und Goodman (1968), ein PIP-System (von „probabilistic-information-processing“) vor, welches als Mensch-Maschine-System anzusehen ist. Hierbei werden Personen (Experten) nach ihren subjektiven Schätzungen für die Likelihoods befragt, welche als Eingangsgrößen dienen und über den Algorithmus des Bayes-Theorems zur Posteriori-Wahrscheinlichkeit aggregiert werden. Dabei hat sich die Überlegenheit eines solchen Aggregationsalgorithmus gegenüber der direkten Erhebung der Posteriori-Wahrscheinlichkeit (auch POP genannt, von „posterior probability“) in einer Vielzahl von empirischen Studien gezeigt, und neben den Untersuchungen auf der Grundlage des sog. Urnenparadigmas liegen Anwendungen insbesondere im medizinischen, meteorologischen, militärischen und betriebswirtschaftlichen Kontext vor. Eine allgemeine Zusammenfassung geben Beach (1975), und Beach und Beach (1982), für den medizinischen Bereich siehe Mai und Hachmann (1977) sowie die Bibliographien von Krischer (1980) und von Wagner, Tautu und Wolber (1978).

2.7.6 Die Anwendung des Bayes-Theorems als Entscheidungshilfe

Ist eine Entscheidungssituation durch Unsicherheit hinsichtlich des zum relevanten Zeitpunkt geltenden Zustandes gekennzeichnet und werden Alternativen in Abhängigkeit von diesen Zuständen als unterschiedlich gut erachtet, so ist es im Hinblick auf eine gute Entscheidung wichtig, möglichst genau im voraus zu wissen, welcher Zustand zu erwarten ist. Entscheidungshilfe in solchen Situationen muß sich darauf beziehen, Mittel und Wege an die Hand zu geben, Wahrscheinlichkeitsaussagen für die verschiedenen Zustände zu ermitteln und anfallende bzw. verfügbare Informationen in dieses Wahrscheinlichkeitsurteil angemessen zu aggregieren. Entscheidungssituationen dieser Art kann man allgemein als „Diagnosesituationen“ kennzeichnen, in denen ein Zustand zu diagnostizieren ist (Tack, 1976). Für eine Entscheidungshilfe entsprechend dem PIP-System sind folgende Schritte notwendig:

1. Eingrenzung des Entscheidungsproblems.
2. Festlegung der relevanten (möglichen, künftigen) Zustände.
3. Ermittlung der Apriori-Wahrscheinlichkeiten für die Zustände.

4. Suche nach aussagekräftigen Informationsquellen.
5. Bestimmung der Likelihoods, d.h. der Wahrscheinlichkeit von Ereignissen (Daten), ausgehend von der Gültigkeit bestimmter Zustände.
6. Überprüfung von Unabhängigkeitsbedingungen.
7. Feststellung von Daten, d.h. Beobachtung der Informationsquellen.
8. Berechnung der Posteriori-Wahrscheinlichkeit über das Bayes-Theorem.
9. Entscheidung, ob weitere Informationen benötigt werden.
10. Bewertung der Alternativen pro Zustand.
11. Entscheidung als Wahl der besten Alternative.

Die Bewertung der Alternativen in Schritt 10 kann im Fall multiattributiver Alternativen gegebenenfalls über die Bewertung der einzelnen Konsequenzen und der Aggregation dieser zu einer Gesamtbewertung der Alternativen erfolgen. Diese De- und Rekomponierung kann ihrerseits in den Schritten entsprechend 2.5.5.3 erfolgen.

Abschließend seien einige charakteristische Gesichtspunkte eines solchen Vorgehens für den Beispiel-Fall erläutert, daß Wettersituationen als die für eine Alternativen-Bewertung relevanten Zustände erachtet werden und in Abhängigkeit vom Wetter verschiedene Alternativen zu bevorzugen wären. Von daher ist gemäß (1) zu klären, welche Aspekte des Wetters, z.B. Temperatur, Windstärke, Windrichtung oder Niederschlag, einen Einfluß darauf haben, als wie gut sich Entscheidungen im nachhinein erweisen werden. Was die Festlegung der relevanten Zustände (2) angeht, so wird z.B. ein Bauer im Blick auf die Rübenenernte „Novemberfrost“ zu bedenken haben, eine Baufirma im Zusammenhang mit einer Außenbeschichtung „Regen innerhalb der nächsten 20 Stunden“, eine Raumfahrtbehörde potentielle „Unwetter in dem Landegebiet eines Raumschiffes“. Die relevanten Merkmale bzw. bestimmte Kombinationen davon bestimmen also, welche Zustände zu unterscheiden sind. Als Apriori-Wahrscheinlichkeiten gemäß (3) können die unterschiedlichsten klimatologischen Wahrscheinlichkeiten herangezogen werden. Weitere aussagefähige Informationsquellen (4) wären etwa die zum Zeitpunkt des Geschehens herrschende momentane allgemeine Wetterlage, die Windverhältnisse, das Wetter am Vortag usw. Für die möglichen Ereignisse hinsichtlich beobachtbarer Informationsquellen sind Likelihood-Schätzungen vorzunehmen. Es ist also gemäß (5) zu schätzen, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Ereignisse auftreten, wenn man bestimmte Zustände als wahr zugrunde legt. So kann man „Novembernächte mit Nachtfrost“, H_1 , versus solche „ohne Nachtfrost“, H_2 , als die relevanten Zustände betrachten. Ausgehend von H_1 - Nachtfrost - fragt man sodann nach der Wahrscheinlichkeit regnerischen bzw. klaren Wetters am Vortag, der Wahrscheinlichkeit von Süd-, Nord-, West- oder Ostwind usw. Hat man die gleichen Beurteilungen ausgehend von H_2 - kein Nachtfrost - vorgenommen, sind die Likelihoods spezifiziert. Für die konkret zu beurteilende Entscheidungssituation, in der Vorhersagen für bestimmte Zustände hinsichtlich des Wetters gemacht werden sollen, sind gemäß (7) Informationen

über die herrschende Windrichtung, das momentane Wetter usw. einzuholen. Ausgehend von diesen konkreten Daten d_j der Informationsquellen D_j sind die Posteriori-Wahrscheinlichkeiten für die interessierenden Zustände gemäß (8) über ein Modell der Bayesschen Informationsverarbeitung zu berechnen. Aussagekräftige Informationsquellen führen zu präziseren Vorhersagen hinsichtlich der zu erwartenden Zustände, d.h. im Vergleich zu den Apriori-Wahrscheinlichkeiten vor Kenntnis dieser Informationen sind die Posteriori-Wahrscheinlichkeiten danach im Erwartungswert zentrierter; im Idealfall kann einem Zustand fast die gesamte Wahrscheinlichkeitsmasse zugeordnet werden. Wird die Genauigkeit der Wettervorhersage (9) als hinreichend erachtet und ist der Nutzen der Alternativen entsprechend (10) pro Zustand spezifiziert, kann eine Entscheidung hinsichtlich der Alternativen gemäß (11) gefällt werden. Im Beispiel von oben wird gegebenenfalls der Bauer seine Rüben einmieten, die Baufirma mit der Anbringung des Außenbelags noch warten, die Raumfahrtbehörde über alternative Landeplätze bzw. das Aufschieben der Landung nachdenken. Genügt die Wetterdiagnose dem in (9) geforderten Präzisionsgrad nicht, muß zu (4) zurückgegangen werden, und es ist zu überlegen, welche weiteren Informationen eingeholt werden können.

Es ist offensichtlich, daß die Entscheidungsanalyse in Situationen, die durch Unsicherheit hinsichtlich relevanter situativer Zustände gekennzeichnet sind, aufwendig ist. In Abhängigkeit davon, welcher Zustand eintreten wird, führen Alternativen entweder zu verschiedenen Konsequenzen, oder die Relevanz der Attribute verändert sich, so daß unterschiedliche Gesamtbewertungen der Alternativen resultieren und verschiedene Alternativen bevorzugt werden.

In Entscheidungssituationen, in denen dem Wahrscheinlichkeitsaspekt im Vergleich zum Nutzenaspekt die zentrale Bedeutung zukommt, sind insbesondere Verfahren der probabilistischen Informationsverarbeitung als Entscheidungshilfen einsetzbar.

2.8 Die Selektion von Alternativen bei Unsicherheit über die situativen Zustände

In diesem Teilkapitel soll die Entscheidungsmatrix wieder insgesamt betrachtet werden, wie sie in 2.1.3 eingeführt und in 2.1.4 als Grundmodell einer jeden Entscheidungssituation dargestellt wurde. Dabei sollen die Ergebnisse der beiden konstituierenden Prozesse, nämlich „Ermittlung des Nutzens von Alternativen“ und „Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten von Zuständen“ miteinander verknüpft werden.

2.8.1 Ausgangspunkt

Sowohl in Abschnitt 2.6 als auch hier geht es um die Bestimmung des Nutzens von Alternativen unter Unsicherheit. Während in 2.6 die Unsicherheit ausschließlich hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit von Konsequenzen problematisiert wurde, interessiert hier die - zusätzlich zu betrachtende - Unsicherheit hinsichtlich der geltenden Zustände.

Eine Unterscheidung von Zuständen ist um so sinnvoller,

- je unterschiedlicher der mit den interessierenden Alternativen verbundene Nutzen pro Zustand ist;
- je enger der Zusammenhang von Zustand und Konsequenz ist, womit die Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenzen von Alternativen durch die gleichzeitige Betrachtung von Zuständen reduziert wird und
- je eher es möglich ist, Informationen im Hinblick auf das Zutreffen von Zuständen zu erhalten.

Eine Unterscheidung von Zuständen ist unumgänglich,

- wenn die Relevanz von Attributen von den Zuständen abhängig ist und
- wenn der Entscheider verschiedene Zustände - mag er sie auch anders etikettieren - als seine Ausgangsbasis erlebt und diese seiner Denkweise vertraut sind.

Sofern nun der Gesichtspunkt der „Zustände der Welt“ in die Entscheidungsanalyse explizit einbezogen wird, fließen in der Entscheidungsmatrix die Ergebnisse von zwei Prozessen der Informationsbeschaffung und -Verarbeitung zusammen: einerseits der Prozeß der „Ermittlung des Nutzens von Alternativen“ und andererseits der der Bestimmung der „Wahrscheinlichkeiten von Zuständen“. Aus der probabilistischen Informationsaggregation resultieren die Wahrscheinlichkeiten für die hypothetischen Zustände, $P(H_i)$; aus der Informationsaggregation der bewertungsrelevanten Konsequenzen resultieren die bedingten Nutzen von Alternativen, $U(A_k/H_i)$. Tabelle 6 stellt eine Entscheidungsmatrix mit 5 Alternativen und 4 Zuständen dar. Die Eintragungen in den Zellen sind die bedingten Nutzen $U(A_k/H_i)$; z.B. resultiert bei Wahl von A_1 , sofern Zustand H_2 eintritt, ein Nutzen von 8. Ausgehend von einer solchen Entscheidungsmatrix sollen Entscheidungskriterien, welche die Unsicherheit hinsichtlich der geltenden Zustände berücksichtigen, dargestellt werden. Herrscht keine Unsicherheit und wird entsprechend einem Zustand die Wahrscheinlichkeit von Eins und allen anderen die Wahrscheinlichkeit von Null zugewiesen, so führt die Gültigkeit von H_1 zur Wahl von Alternative A_1 ; H_2 zu A_1 oder A_4 ; H_3 zu A_5 und H_4 zu A_2 ; sofern man von multiattributiven Alternativen ausgeht und entsprechend die einzelnen Komponenten betrachtet, sind die in 2.4.2 dargestellten Kriterien anwendbar.

Tabelle 6: Entscheidungsmatrix mit Beispielwerten $U(A_k|H_i)$ für 4 Alternativen

H y p o t h e s e n					Bevorzugte Alternative gemäß :
	H_1 $P(H_1)$	H_2 $P(H_2)$	H_3 $P(H_3)$	H_4 $P(H_4)$	
A_1	11	8	2	4	Laplace-Regel
A_2	3	0	4	12	Maximax-Regel
A_3	7	3	2	6	Savage-Niehans-Regel
A_4	8	8	1	4	
A_5	4	4	8	5	Wald-Regel

Hilfsmatrix für die Savage-Niehans-Regel

	H_1	H_2	H_3	H_4
A_1	0	0	-6	-8
A_2	-8	-8	-4	0
A_3	-4	-5	-6	-6
A_4	-3	0	-7	-8
A_5	-8	-5	0	-7

2.8.2 Entscheidungskriterien bei Ungewißheit über die Zustände

Herrscht Ungewißheit darüber, von welchen Bedingungen hinsichtlich der Gültigkeit von Zuständen auszugehen ist, ist die Entscheidung für eine der Alternativen erschwert, da ja die Höhe des mit einer Alternativen verbundenen Nutzens von dem dann jeweils geltenden Zustand abhängt. Dabei kann hinsichtlich der Zustände unterschieden werden, ob es sich um Unsicherheit

handelt und entsprechend die Zustände mit bekannten bzw. ermittelbaren Wahrscheinlichkeiten auftreten werden oder ob von genereller Unwissenheit auszugehen ist und nicht einmal Wahrscheinlichkeiten vorliegen.

Im folgenden werden einige formale Entscheidungskriterien dargestellt, die von Unwissenheit hinsichtlich des Auftretens der Zustände der Welt ausgehen, also den Fall betrachten, daß keine Kenntnisse über die Auftretenswahrscheinlichkeiten der Zustände vorliegen. Eine Übersicht hierzu gibt Milnor (1954).

(a) *Das Maximax-Prinzip*: Dieses Entscheidungsprinzip schreibt die Wahl der Alternativen A_k mit der überhaupt höchsten Bewertung vor:

$$\max_k \left[\max_i [U(A_k|H_i)] \right] .$$

Dieses Entscheidungsprinzip ist extrem „optimistisch“ und orientiert sich ausschließlich an dem höchstmöglichen Nutzen, der erreichbar ist.

(b) *Die Wald-Regel* (auch Maximin- bzw. Minimax-Regel): Für jede Alternative wird der minimale Nutzen bestimmt, und als beste Alternative gilt die, für die dieser minimale Nutzen am höchsten - maximal - ist. Dieses Entscheidungskriterium maximiert den minimalen Nutzen (bzw. äquivalent hierzu ist: minimiert den maximalen Verlust), und es ist die folgende Alternative A_k zu wählen:

$$\max_k \left[\min_i [U(A_k|H_i)] \right] .$$

Dieses Kriterium ist extrem „pessimistisch“ und geht pro Alternative von dem ungünstigsten Fall aus: Es wird diejenige Alternative gewählt, für die dieser ungünstigste Fall noch am besten ist (Wald, 1950).

(c) *Die Hurwicz-Regel* mit dem „Optimismusparameter“ λ : Ausgehend von der Überlegung, daß Entscheidungen sich in der Regel nicht so schlecht wie zu befürchten und nicht so gut wie zu erhoffen auswirken, wird mit der Hurwicz-Regel ein Kompromiß zwischen diesen extremen Ausgängen hergestellt und als Entscheidungsgrundlage herangezogen. Pro Alternative wird ein gewichteter Mittelwert aus dem schlechtesten und dem besten Nutzen berechnet und die Alternative bevorzugt, welche dabei den höchsten Wert erzielt. Somit wird die Alternative k gewählt, welche den folgenden Ausdruck erfüllt:

$$\max_k \left[\lambda \max_i [U(A_k|H_i)] + (1-\lambda) \min_i [U(A_k|H_i)] \right] \text{ mit } 0 < \lambda < 1.$$

Der Parameter λ bestimmt dabei, mit welchem relativen Anteil der in Abhängigkeit vom Zustand resultierende maximale bzw. minimale Nutzen der Alternative die Entscheidung beeinflussen soll.

(d) *Die Savage-Niehans-Regel*: Sie geht davon aus, daß der Verlust, der dadurch eintritt, daß möglicherweise eine in der Rückschau nicht optimale Alternative gewählt worden ist, möglichst klein zu halten ist, d.h., sie minimiert den

Opportunitätsverlust („regret“; gemeint ist das Ausmaß der Fehlentscheidung, wie es im nachhinein ersichtlich wird). Pro Zustand wird die beste Alternative identifiziert, und ihr Nutzen wird von allen anderen Nutzenwerten der gleichen Spalte subtrahiert. Es resultiert eine Matrix, in deren Zellen pro Zustand der Verlust eingetragen ist, der bei Wahl einer Alternative im Vergleich zu der besten resultiert. Auf diese Matrix wird das Wald-Kriterium angewendet und diejenige Alternative gewählt, für die der maximale Verlust minimal ist; k ist so zu wählen, daß der folgende Ausdruck gilt:

$$\max_k \left[\min_i [U(A_k|H_i) - \max_k U(A_k|H_i)] \right] .$$

Diese Regel wurde von Niehans (1948) und von Savage (1951) entwickelt.

(e) *Das Laplace-Prinzip* (auch Prinzip der unzureichenden Gründe): Gemäß diesem Kriterium wird die Alternative gewählt, deren durchschnittlicher Nutzen am höchsten ist. Wenn es schon keine Gründe dafür gibt, einen Zustand als wahrscheinlicher anzunehmen als einen anderen, dann schlägt etwa Chernoff (1954) vor, alle möglichen Ausgänge in gleicher Weise bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen. Hiernach ist die folgende Alternative zu wählen:

$$\max_k \left[\sum_i U(A_k|H_i) \right] .$$

Bezugnehmend auf die Entscheidungsmatrix in Tabelle 6 führen diese Entscheidungsregeln zur Wahl unterschiedlicher Alternativen: (a) führt zur Alternativen A_3 , (b) zu A_5 , (d) zu A_3 und (e) zu A_1 . Das Entscheidungsprinzip (c) führt in Abhängigkeit von λ zu unterschiedlichen Wahlen: Für $\lambda = \frac{1}{3}$ resultiert A_5 , für $\lambda = \frac{2}{3}$ resultieren gleichermaßen A_1 und A_2 . Da die Alternative A_4 von A_1 dominiert wird, kann A_4 entsprechend von keinem Entscheidungsprinzip als einzige Alternative präferiert werden.

Liegen nun Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Zustände vor, entweder als Apriori- oder als Posteriori-Wahrscheinlichkeiten, können die folgenden beiden Entscheidungsregeln angewendet werden:

(f) *Die Bayes-Regel*: Gemäß dieser Regel wird die Alternative gewählt, die zu dem höchsten erwarteten Nutzen führt, d.h. den folgenden Ausdruck erfüllt:

$$\max_k \left[\sum_i P(H_i) \cdot U(A_k|H_i) \right] .$$

Diese Regel ist mit dem Bernoulli-Prinzip verwandt; in 2.8.3 wird hierauf noch ausführlicher eingegangen.

(g) *Die Hodges-Lehman-Regel* mit dem Vertrauensparameter λ (Hodges & Lehman, 1952): Sie stellt eine Kombination zwischen der Bayes-Regel und der Minimax-Regel dar, indem gleichzeitig versucht wird, den erwarteten Nutzen

sowie den minimalen Nutzen zu maximieren; es wird die folgende Alternative gewählt:

$$\max_k \left[\lambda \sum_i P(H_i) U(A_k|H_i) + (1-\lambda) [\min_i U(A_k|H_i)] \right] \quad \text{mit } 0 \leq \lambda \leq 1.$$

Dabei kann λ als ein Maß für das Vertrauen in die Wahrscheinlichkeitsverteilung gesehen werden.

Für die verschiedenen hier genannten Entscheidungsregeln lassen sich Gründe anführen, aus denen heraus sie sinnvoll und nützlich sind. Formuliert man allerdings unabhängig von den konkreten Regeln wünschenswerte Eigenschaften solcher Regeln, d.h. eine Art Kriterienliste für Entscheidungskriterien, so werden diese Eigenschaften nicht immer erfüllt. So sollte etwa die Rangordnung, die ein bestimmtes Entscheidungskriterium einer Reihe von Alternativen zuweist, nicht dadurch verändert werden, daß man weitere Alternativen hinzufügt oder einige der vorhandenen eliminiert (diesem Gesichtspunkt genügt z.B. die Savage-Niehans-Regel nicht). Gemäß solcher „Meta-Kriterien“ zeigen sich die Wald- und die Bayes-Regel den anderen überlegen. Eine kritische Diskussion hierzu findet man bei Luce und Raiffa (1957).

Die Wirkungsweise der einzelnen Entscheidungskriterien kann räumlich dargestellt werden. Wählt man die verschiedenen Zustände als die verschiedenen Achsen des Koordinatensystems, so kann eine Alternative über die pro Zustand resultierenden Nutzenwerte als ein Punkt im Zustandsraum dargestellt werden. Abbildung 15 gibt eine solche Darstellung für eine hypothetische Alternativenmenge und demonstriert die Minimax-, Maximin- und Laplace-Regel.

Ausgehend von allen möglichen Wahrscheinlichkeitsverteilungen kann man die jeweils beste Alternative entsprechend der Bayes-Regel bestimmen. Die Menge dieser so bestimmten besten Alternativen ist die effiziente - d.h. nicht dominierte - Menge. Die Lage dieser Alternativen ist als dicke Linie in Abbildung 15 gekennzeichnet. Hieraus ergibt sich, daß bei bestimmten Wahrscheinlichkeiten für die Zustände die aus der Bayes-Regel resultierende Wahl einer Alternativen identisch mit der Entscheidung gemäß einer anderen Regel ist.

Sofern die Bayes-Regel bei Entscheidungen unter Unsicherheit (d. h.: Wahrscheinlichkeiten für die Zustände liegen vor) akzeptiert wird, kann sie auch im Fall der Entscheidung unter Unwissenheit (d.h. wenn nicht einmal Wahrscheinlichkeiten vorliegen) als Entscheidungskriterium herangezogen werden. Dabei kann aus den Daten der Ergebnismatrix jenes $P(H_i)$ bestimmt werden, das zur gleichen Entscheidung führt wie eine der anderen von Unwissenheit ausgehenden Entscheidungsregeln. Für diese $P(H_i)$ ist zu entscheiden, ob eine solche Wahrscheinlichkeitszuweisung zu Zuständen akzeptierbar und entsprechend die Entscheidungsregel vertretbar erscheint. Ein solches Vorgehen würde die Willkürlichkeit des Entscheidungskriteriums reduzieren.

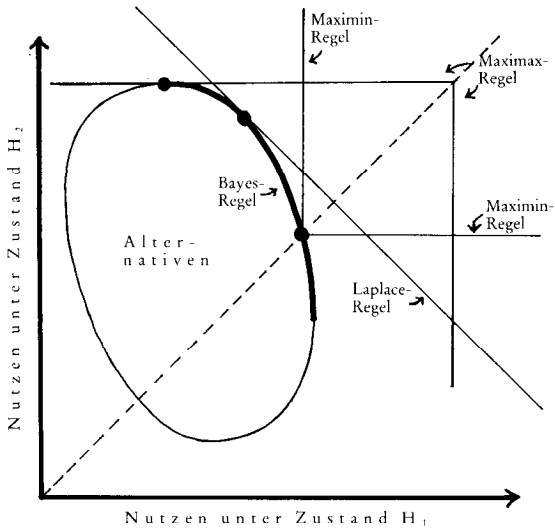


Abb. 15: Entscheidungsregeln für Alternativen, deren Nutzen in Abhängigkeit von Zuständen stehen

Eine ausführliche Darstellung der verschiedenen Entscheidungskriterien sowie deren graphische Veranschaulichung geben Halter und Dean (1971).

2.8.3 Sinnvolle Eigenschaften von Entscheidungskriterien

Entscheidungen beziehen sich immer auf zukünftige Sachverhalte, und erfordern ein Abwägen zwischen Alternativen, über die nicht genau bekannt ist, als wie gut sie sich in der Zukunft erweisen werden. Ist die künftige Situation eingetreten, interpretiert man Entscheidungen im nachhinein gern als „richtig“ oder als „falsch“ - schließlich „weiß man es dann viel besser“. Dabei übersieht man aber, daß nachträglich häufig nur die tatsächlich eingetretenen Konsequenzen berücksichtigt werden, während vor einer Entscheidung alle denkbaren Konsequenzen einer Alternativen zu bedenken sind. Dies sind zwei unterschiedliche Ausgangssituationen einer Bewertung von Alternativen. Werden verschiedene Entscheidungsstrategien miteinander verglichen, so sind naturgemäß diejenigen zu bevorzugen, für welche vergleichsweise kleine Diskrepanzen dieser Vorher-Nachher-Bewertung zu erwarten sind.

Vergleicht man Vorher- und Nachher-Bewertungen von Alternativen, so können hinsichtlich der Verteilung der hieraus resultierenden Differenzen

wünschenswerte Eigenschaften spezifiziert werden. Solche Eigenschaften sind etwa:

1. Die Verteilung soll einen Erwartungswert von Null haben, d. h., Alternativen sollen im voraus nicht systematisch über- bzw. unterbewertet werden.
2. Sie soll eine kleine Variation aufweisen, d.h., der eintretende Nutzen soll dem vorhergesagten möglichst nahekommen.
3. Falls im Vergleich zur Vorher-Bewertung eine resultierende tiefere Nachher-Bewertung gravierender ist als eine höhere, sind Präferenzen hinsichtlich der Schiefe der Verteilung zu spezifizieren.

Diese Aspekte sind bei der Auswahl von Entscheidungskriterien zu berücksichtigen, und die Angemessenheit von Entscheidungskriterien ist in bezug hierauf zu beurteilen.

Da die Menge denkbarer Entscheidungskriterien groß ist, versucht man, Grundannahmen hinsichtlich der Präferenzen für Alternativen zu formulieren. Sofern solche allgemein akzeptiert werden, kann man sich auf Entscheidungskriterien beschränken, die diesen Gesichtspunkten genügen. Minimale Anforderungen an Entscheidungskriterien sind, 1. daß sie logisch konsistent und widerspruchsfrei sind, 2. daß die Präferenzen hinsichtlich der Alternativen der Bedingung der schwachen Ordnung genügen (Konnexität und Transitivität, siehe 2.4.2); und 3. daß dominierte Alternativen nicht präferiert werden. Inwieweit darüber hinausgehende Anforderungen allgemein akzeptierbar sind und infolgedessen weitere Entscheidungskriterien eliminierbar wären, darüber herrscht in der Literatur Uneinigkeit (vgl. Schneeweiß, 1967).

Betrachtet man die verschiedenen Nutzen, zu denen eine Alternative in Abhängigkeit von den Zuständen führen kann, unter Wahrscheinlichkeitsgesichtspunkten, indem man den Nutzen-Werten die Wahrscheinlichkeiten der Zustände zuschreibt, so resultiert eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über Nutzen, und die klassischen Entscheidungsprinzipien können als Präferenzfunktionen von Verteilungsparametern dieser Wahrscheinlichkeitsfunktionen definiert werden. Sind Präferenzen ausschließlich vom ersten Moment der Verteilung abhängig, ist der Erwartungswert als Entscheidungskriterium heranzuziehen, und es resultiert die Bayes-Regel. Gehen Risikoüberlegungen, d. h. die Unterschiedlichkeit des Nutzens einer Alternative unter den verschiedenen Zuständen, in eine Bewertung ein, ist ein Entscheidungskriterium zu definieren, welches zusätzlich die Variation von Ausgängen berücksichtigt. Solche Entscheidungskriterien sind beispielsweise mit dem Mittelwert-Varianz-Ansatz der Portfolio-Theorie definiert. Dieses Entscheidungskriterium, so zeigt Schneeweiß (1967), ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Wahrscheinlichkeiten normalverteilt sind. Sofern hiervon nicht ausgegangen werden kann, werden die aus dem Mittelwert-Varianz-Kriterium resultierenden quadratischen Nutzenfunktionen relevant (Borcharding, 1978) und können in einem Extrembereich zur Wahl dominierter Alternativen führen (Sayeki, 1976). Eine

ausführliche Darstellung von Präferenzfunktionen für verschiedene Verteilungsparameter und deren rationale Grundlage gibt Schneeweiß (1967, Kap. 2).

In letzter Zeit scheinen im Fall der Bewertung von Alternativen unter Berücksichtigung von Unsicherheit Verfahren bevorzugt zu werden, die vom „Bernoulli-Nutzen“ bzw. vom „v. Neumann-Morgenstern-Nutzen“ ausgehen, wie er bereits in 2.4 und 2.6 bei der Einführung der Nutzenfunktionen dargestellt wurde. Danach ist für die einzelnen Ausgänge der probabilistische Nutzen zu bestimmen, und unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeiten der Zustände kann der erwartete - risikobehaftete - Nutzen berechnet und als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden. Der so bestimmte Nutzen ist im Falle linearer Nutzenfunktionen identisch mit dem Nutzen, wie er über die Bayes-Regel berechnet wird.

Tabelle 7: Komponenten und Ablauf des Entscheidungsprozesses.

<i>A: Ermittlung der Wahrscheinlichkeit von Zuständen (Diagnose)</i>	
1. Den möglichen und relevanten Zuständen der Welt	H_i
werden Apriori-Wahrscheinlichkeiten zugeordnet	$P_o(H_i)$
2. Betrachtet werden aussagekräftige Datenquellen	$D_i, j = 1, \dots, m$
mit verschiedenen Ereignissen als den Beobachtungen	$d_i \in D_j$
und deren Likelihoods	$P(d_i|H_i)$
3. Für einen konkreten Sachverhalt werden Daten beobachtet	d_1, d_2, \dots
4. Apriori-Wahrscheinlichkeiten und Likelihoods werden zu Posteriori-Wahrscheinlichkeiten aggregiert	$P_m(H_i)$
<i>B: Bewertung des Nutzens von Alternativen (Evaluation)</i>	
1. Verschiedene Handlungsalternativen werden betrachtet	A_k
2. Sie führen auf relevanten Bewertungskriterien, den Attributen	X_i
zu den Konsequenzen	x_i
mit dem Nutzen dieser Konsequenzen	$u(x_i)$
und der Wichtigkeit von Attributen	w_k
3. Die Konsequenzen treten mit bestimmten Wahrscheinlich- keiten auf	$p(x_i|A_k \cap H_i)$
4. Wahrscheinlichkeiten und Nutzen von Konsequenzen werden zu einer Bewertung von Alternativen aggregiert	$U(A_k/H_i)$
<i>C: Entscheidung als Wahl einer Alternativen (Selektion)</i>	
1. Ausgehend von der Ergebnismatrix werden berücksichtigt: Die Wahrscheinlichkeiten für Zustände	$P_m(H_i)$
und die Bewertung von Alternativen	$U(A_k/H_i)$
2. Es wird ein Entscheidungskriterium bestimmt und die beste Alternative gewählt	A^*
<i>D: Re-Evaluation der Entscheidung</i>	
1. Als tatsächlicher Zustand trete ein:	H^*
2. Die gewählte Alternative	A^*
führt zu den konkreten Konsequenzen	$x_i|A^* \cap H^*$
und dem Nutzen	$U(A^*|H^*)$
3. Die beste Alternative wäre gewesen	$\max_k [U(A_k|H^*)]$
4. Es resultiert ein Opportunitätsverlust	$U(A^*|H^*) - \max_k [U(A_k|H^*)]$

2.8.4 Zusammenfassende Betrachtung formalisierter Entscheidungskriterien

Die Entscheidungsanalyse kann als ein Bündel von Verfahren gesehen werden, welche auf entscheidungstheoretischen Grundlagen basieren und für verschiedene Entscheidungsprobleme und Phasen von Entscheidungsprozessen formalisierte Lösungsstrategien bereitstellen. Um den Zusammenhang dieser Verfahren zu verdeutlichen, sind in Tab. 7 die wesentlichen Komponenten und ihre Stellung im Ablauf der Entscheidungsfindung summarisch dargestellt. (Siehe auch Borchering & Schaefer, 1982.)

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Zustandsdiagnose und Alternativen-Evaluation in Entscheidungsprozessen.

Beurteilungsgegenstand	Zustände der Welt (Hypothesen) $H = \{H_i\}$	Alternativen im Hinblick auf Ziele $A = \{A_k\}$
Modalität der Beurteilung	Wahrscheinlichkeit	Nutzen
Informationsbasis	hypothetische Datenquellen (Experimente) $D = \{D_j\}$	bewertungsrelevante Aspekte Attribute) $x = \{x_i\}$
mögliche Informationen	Ereignisse, Daten $\{d_j\} \in D_j$	Ausprägungen von Alternativen auf Attributen (Konsequenzen) $\{x_i\} \in X_i$
Verknüpfung der Informationen mit dem Beurteilungsgegenstand	Likelihoods $P(d_j|H_i)$	Bewertung der Konsequenzen im Hinblick auf Ziele $u(x_i)$
Aggregationsmodell	Bayes-Theorem	Multiattributive Nutzentheorie
konkret anfallende Informationen	von zu klassifizierenden Sachverhalten $d_1, d_2 \dots$	von zu bewerteten Alternativen $x_1, x_2 \dots$
es resultieren	Wahrscheinlichkeiten von Zuständen $P(H_i)$	Bewertungen der Alternativen pro Zustand $U(A_k|H_i)$
Verknüpfung:	Ergebnismatrix	

Dabei betreffen die ersten beiden Blöcke (A und B) die Informationsverarbeitung hinsichtlich der Wahrscheinlichkeits- und Nutzenaspekte; aus beidem gemeinsam resultiert die Entscheidungsmatrix, in der beide Arten von Informationen zusammenfließen. Die Anwendung eines Entscheidungskriteriums auf

diese Informationen führt zu der Entscheidung (Block C). Daß zwischen den beiden Teilvorgängen „Zustands-Diagnose“ und „Alternativen-Evaluation“ in allen wesentlichen Punkten Parallelität besteht, soll die Gegenüberstellung in Tab. 8 verdeutlichen. Auf die generelle Entsprechung zwischen „probabilistischer“ und „utilistischer“ Perspektive hat Jungermann (1977) hingewiesen; die Korrespondenz beider Gesichtspunkte im Hinblick auf Informationsverarbeitungsprozesse wird in Borcherding (1981) behandelt.

In Block D von Tab. 7 geht es um die Güte resultierender Entscheidungen allgemein und damit um eine Evaluation des Entscheidungsprozesses an sich. Ausschlaggebend für die unmittelbare Evaluation ist die gewählte Alternative A^+ und der eintretende Zustand H^+ : Beide gemeinsam bestimmen die auftretenden Konsequenzen, und als Folge hiervon resultiert für den Entscheider der in der entsprechenden Zelle der Entscheidungsmatrix angegebene Nutzen. Durch den Vergleich des effektiven Nutzens $U(A^+/H^+)$ mit dem Nutzen der ex post besten Alternative $\max_k [U(A^+/H^+)]$ kann der oben genannte Opportunitätsverlust bestimmt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß folgende Faktoren die Höhe des aus einer Entscheidung resultierenden Nutzens bestimmen:

- die mit den Alternativen pro Zustand verbundenen Nutzen,
- die Wahrscheinlichkeiten für die Zustände,
- das Entscheidungskriterium, auf Grund dessen eine Alternative gewählt wird,
- der tatsächlich eintretende Zustand.

In bezug auf Nutzen- und Wahrscheinlichkeitsschätzungen kann man zusätzlich Sensibilitätsanalysen vornehmen. Dabei wird abgeschätzt, inwieweit die Genauigkeit der verarbeiteten Schätzungen eine Auswirkung auf die resultierende Entscheidung haben, und rückschließend läßt sich ermitteln, inwieweit sich Mühen im Hinblick auf eine präzisere Erfassung bestimmter Aspekte lohnen. Ein Entscheidungskriterium soll schließlich vor allem das Risiko des Entscheiders - den *zu erwartenden* Opportunitätsverlust - möglichst gering halten.

2.9 Die Anwendung entscheidungsanalytischer Verfahren als Entscheidungshilfe

2.9.1 Ansatzpunkte für den Einsatz entscheidungsanalytischer Verfahren

Ein Entscheider wird sich insbesondere in solchen Entscheidungssituationen Hilfen wünschen, die er aus den unterschiedlichsten Gründen als schwierig

erlebt und in denen er nicht unmittelbar über Lösungsstrategien verfügt. Liegt die Schwierigkeit in der Komplexität der Entscheidungssituation, indem viele Aspekte gleichzeitig zu berücksichtigen sind, die Konsequenzen der möglichen Handlungsalternativen nicht genau vorhersehbar sind und keine der betrachteten Alternativen den anderen eindeutig überlegen zu sein scheint, so liegen mit den im Rahmen der Entscheidungstheorie entwickelten entscheidungsanalytischen Verfahren Methoden vor, die auf solche konkreten Sachverhalte angewendet werden und damit als Entscheidungshilfe fungieren können.

Die Entscheidungstheorie liefert eine übergreifende Sichtweise zur Behandlung inhaltlicher Entscheidungsprobleme; die wichtigsten Aspekte der Analyse von Entscheidungsfindungsprozessen sind in Abb. 16 noch einmal veranschaulicht.

Die Verwendung entscheidungsanalytischer Verfahren in konkreten Situationen erfordert die Abbildung des inhaltlichen Problems in ein geeignetes entscheidungstheoretisches Modell; die mit dieser Übersetzung verbundenen Probleme sind Hauptbestandteil jeder Entscheidungsanalyse und Voraussetzung für die Anwendung formalisierter Verfahren.

Entscheidungsanalysen können in die folgenden vier Schritte aufgegliedert werden: Strukturierung des Entscheidungsproblems, Formulierung des entscheidungstheoretischen Modells, Erhebung entscheidungsrelevanter Sachverhalte und kritische Reflexion der numerischen Modellergebnisse. Entsprechend hierzu können Entscheidungshilfeverfahren auf jeder einzelnen Stufe angesiedelt, aber auch übergreifend verstanden und eingesetzt werden.

Tatsächliche Entscheidungsprobleme sind meist dadurch gekennzeichnet, daß der Entscheider nicht so genau weiß, was er will (Ziele), was er tun kann (Handlungsalternativen), welches die relevanten Aspekte sind (Attribute) und/oder woher die benötigten Informationen zu beziehen sind. Aufgabenstellung ist also eine Strukturierung (vgl. 2.3); entscheidungsanalytische Verfahren hierzu können in entsprechenden Situationen als Entscheidungshilfe herangezogen werden. Weitergehende Überlegungen hierzu finden sich in Brown und Ulvila (1977), Kelly (1978), Mac Crimmon und Taylor (1976) sowie v. Winterfeldt (1980 b).

Die Ausarbeitung eines Modells stellt an den Entscheidungsanalytiker die Aufgabe, gleichzeitig formalen und inhaltlichen Gesichtspunkten gerecht zu werden, ohne Gesichtspunkte der Praktikabilität und der Einfachheit zu vernachlässigen. Der Einsatz von Entscheidungsmodellen, welche von der Dekomponierung des Entscheidungsproblems ausgehen, ist deswegen eine durchgreifende Entscheidungshilfe, weil dabei die Komplexität des Entscheidungsproblems in überschaubare Teilbereiche aufgelöst wird, zu denen der Entscheider eher Daten gewinnen oder Urteile abgeben kann; die Gesamtbeurteilung von Alternativen ist hieraus rekonponierbar.

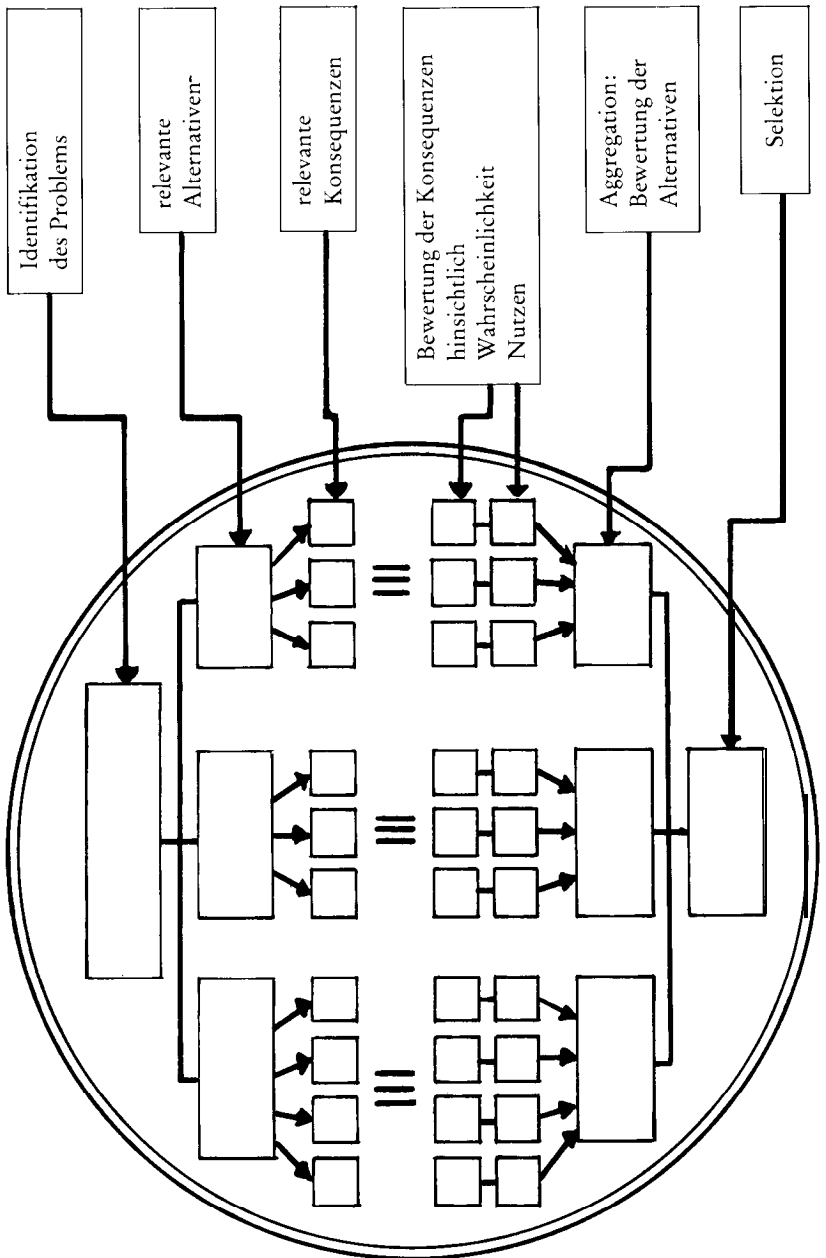


Abb. 16: Schema zur Struktur einer Entscheidungssituation.

Die bei einer derartigen Entscheidungsanalyse stets gegebenen drei Ebenen - Alternativen, Zustände, Attribute - sind in Abbildung 17 noch einmal graphisch verdeutlicht. Grundsätzlich soll der daraus resultierende „Datenwürfel“ in einen „Datenstab“ reduziert werden, der je Alternative nur noch einen Kennwert enthält. Es hängt von der jeweiligen Charakteristik des Entscheidungsproblems ab, ob dabei Bewertungsvorgänge in Abhängigkeit von Attributen oder in Abhängigkeit von Zuständen (bildlich gesprochen: nur horizontale oder vertikale „Scheiben“) als bestimmend für die Entscheidungsfindung angesehen werden oder ob eine Gesamtperspektive geboten ist. Je nach gewählter Vorgehensweise ist es weiterhin wichtig, Prozeduren zur Überprüfung von grundlegenden Unabhängigkeitsbedingungen zur Verfügung zu haben sowie Sensibilitätsuntersuchungen zur Robustheit einfacher Verfahren gegenüber Verletzungen formaler Voraussetzungen anzustellen. Solche Erkenntnisse sind hilfreich, wenn dadurch die herangezogenen Entscheidungsmodelle überschaubarer werden; dies erhöht die Chance, daß der Entscheider die modellgemäße Entscheidungshilfe und die dahinterstehende Konzeption versteht und akzeptiert.

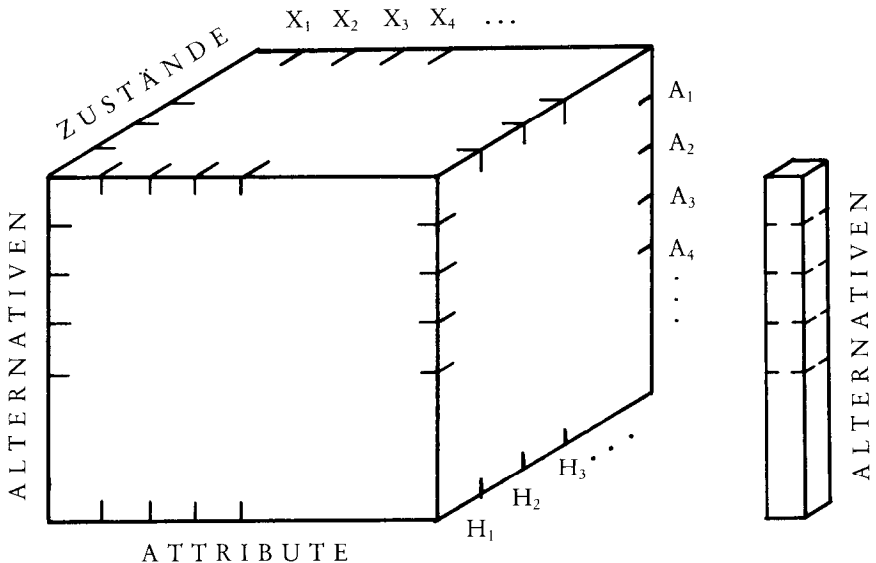


Abb. 17: Verknüpfung der Betrachtungsebene bei der Bewertung von Alternativen.

Bei der Erhebung der relevanten Sachverhalte geht es vor allem um die Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten und die Messung von Nutzen. Die dazu entwickelten vielfältigen Verfahren werden um so eher als Entscheidungshilfe fungieren können, je „anwender-“ und „anwendungsfreundlicher“ sie je nach Problemstellung und Kenntnisstand der Untersuchungspersonen - sind; siehe hierzu etwa Edwards (1977a), Edwards und Stillwell (1980) und Schütt (1981).

Im Hinblick auf die sich ergebenden Modellergebnisse schließlich kann geprüft werden, ob sie insgesamt mit den Globalbewertungen des Entscheiders übereinstimmen (Fischer, 1979). Weiterhin läßt sich analysieren, welche Veränderungen der Ausgangsbewertungen zu welchen Veränderungen der Entscheidung zwischen Handlungsalternativen führen. Da man daraus ableiten kann, hinsichtlich welcher Aspekte eine präzisere Erfassung notwendig ist, um eine gute Entscheidung treffen zu können, verbessert dies eine effektive Anwendung von Entscheidungshilfverfahren erheblich.

Die Anwendung entscheidungsanalytischer Verfahren als Entscheidungshilfe kann - in Zeit oder Kosten gerechnet - schnell aufwendig werden. Ihr Einsatz ist aber insbesondere dann angezeigt, wenn Entscheidungen wichtig sind, wiederholt getroffen werden, langfristig sind, viele betreffen und unabänderliche Folgen haben.

2.9.2 Abbildung einer Entscheidungsproblematik in entscheidungsanalytischen Prozeduren

Einer der schwierigsten Schritte der Entscheidungsfindung ist die Strukturierung eines Entscheidungsproblems. Doch während in einer Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten Probleme im Zusammenhang mit Erhebungsverfahren sowie Modellentwicklungen und -Prüfungen behandelt werden, scheint die Strukturierungsproblematik demgegenüber vernachlässigt worden zu sein, z.B. weil sie als abhängig vom Einzelfall aufgefaßt wird. Dessen ungeachtet determinieren die Feststellungen, die in der Strukturierungsphase getroffen werden, naturgemäß alle folgenden Schritte der Entscheidungsanalyse.

Die Abbildung von Entscheidungsproblemen in entscheidungstheoretische Sichtweisen geschieht häufig durch die Konstruktion von „Bäumen“, die zugleich den Vorteil der Anschaulichkeit haben. Beispiele hierfür sind die Zielbäume im Sinne von Keeney und Raiffa (1976), falls Nutzenüberlegungen im Vordergrund stehen, die Ereignis- oder Fehlerbäume (Kelly & Barclay, 1973), falls es um Wahrscheinlichkeiten bzw. die Repräsentation von Wissensstrukturen geht, und schließlich die Entscheidungsbäume (Brown, Kahr & Peterson, 1974; Raiffa, 1968) für den Fall, daß der sukzessive Charakter mit zeitlich-kausalen Entscheidungsabfolgen wesentlich ist und sowohl Nutzen als auch Wahrscheinlichkeiten zu betrachten sind.

Der anfangs (in 2.3) ausführlicher behandelte Fall der Konstruktion von Zielhierarchien und deren modellhafte Erfassung über multiattributive Nutzenmodelle ist in der Anwendbarkeit auf inhaltliche Problematiken weit allgemeiner, als bei der Darstellung deutlich geworden sein mag. Diese Generalisierbarkeit liegt in der Vielfalt dessen, was unter dem Gesichtspunkt von Attributen erfaßt werden kann. Zumeist wird von dem Fall ausgegangen, daß Attribute

verschiedene gleichzeitig gegebene Bewertungsaspekte von Alternativen erfassen, im Fall der Bewertung von Autos z.B. die entstehenden Kosten, die zu erwartende Lebensdauer, die Fahrleistung usw. Neben diesem „Normalfall“ können die Attribute aber ebenso verschiedene Zeitpunkte beinhalten; den Zeitpunkten sind Gewichte zuzuordnen, und über Verfahren der multiattributiven Nutzentheorie können dann die Bewertungen von Alternativen über Zeitpunkte hinweg aggregiert werden. Als Attribute können auch verschiedene Individuen oder Interessengruppen gehandhabt werden; hierbei wird dann die Bewertung von Alternativen über Personen aggregiert, und es läßt sich über die Attributengewichte steuern, in welchem Grad das Gesamtergebnis - die Gruppenentscheidung - durch die Bewertung der einzelnen Beteiligten bestimmt sein soll. In solchen Anwendungsfallen wird ein Außenkriterium für die Berücksichtigung der betroffenen Interessengruppen erforderlich sein.

In diesem Zusammenhang sei auch an die erwähnte Ähnlichkeit von Prozessen der utilistischen und der probabilistischen Informationsverarbeitung erinnert, wengleich die Modelle der Aggregation sich unterscheiden (vgl. Borcharding, 1981, zur Ähnlichkeit struktureller Aspekte sowie Keeney, 1983a, zur Erfassung von Wahrscheinlichkeiten über Attribute).

Insgesamt ergibt sich, daß die entscheidungsanalytischen Methoden so generell und flexibel sind, daß sie auf außerordentlich unterschiedliche Entscheidungsprobleme anwendbar sind und damit die Grundlage für eine formalisierte Entscheidungshilfe schaffen.

2.9.3 Plädoyer für die Nutzung formalisierter Entscheidungshilfe

Personen treffen fortwährend Entscheidungen, private oder institutionelle, sich und/oder andere betreffend, einzeln oder in Gruppen. Dabei ist ganz durchgehend der Wunsch ausgeprägt, „gut“, „rational“ und „richtig“ zu entscheiden, d.h. Daten-, Kriterien- und Informations-orientiert zwischen den verschiedenen Alternativen abzuwägen mit dem Ziel, die für die eigene Situation beste zu wählen. Diesem Anspruch gegenüber bleibt das tatsächliche Entscheidungsverhalten von Personen weit zurück: Personen entscheiden auch in wichtigen Entscheidungssituationen aus den unterschiedlichsten Gründen „suboptimal“ und häufig ad hoc. Entscheidungen werden in zu geringem Maße geplant und koordiniert, die jeweiligen Umstände und Hintergründe unzureichend analysiert, zu wenig Informationen eingeholt und unbefriedigend aggregiert und tatsächliche Entscheidungen nicht genügend reflektiert oder gar korrigiert. Demgegenüber verfolgen Personen häufig einfache Entscheidungsstrategien (Heuristiken), zeigen typische Fehler (Biases) und „Reagieren“ statt „Handeln“, wofür Tversky und Kahneman (1975) sowie Newell und Simon (1972) viele Belege gesammelt und in ein psychologisches Konzept integriert haben. Da die Diskrepanz zwischen dem Wunsch, „rational“ zu entscheiden, und der

Realität suboptimaler Entscheidungen durchaus erkannt wird, wurden Wege der Abhilfe gesucht. Dazu sagt Edwards (1975, S. 292): "I would prefer to say that men are tool-users, adept at inventing tools for whatever task may be at hand. When the task is intellectual, men invent intellectual tools. When the intellectual tools require supporting physical tools, they invent those, too." Unterliegen die Fähigkeiten von Entscheidern im Hinblick auf „gute“ Entscheidungen mehr oder weniger engen Grenzen, so können diese Mängel überwunden werden, indem Hilfsmittel geschaffen werden, mit denen der gewünschte Grad an Genauigkeit und eine angemessene Verarbeitung der relevanten Informationen erzielt werden kann. Die entscheidungsanalytischen Verfahren liefern genau diese Hilfsmittel. Im Hinblick auf die Simulation eines komplexen Entscheidungsfeldes bei Dörner, Kreuzig, Reither und Stäudel (1981) sei angemerkt: So mancher „Bürgermeister“ von Lohhausen an der Lohe wäre gut beraten gewesen, „überlegter“ zu entscheiden und Entscheidungshilfen anzuwenden - vielleicht wären dann Arbeitsplätze gesichert, die Umweltqualität bewahrt und ein blühendes Gemeindeleben erhalten geblieben. Daß ebenso in anderen Handlungsfeldern und nicht zuletzt bei vielfältigsten Problemen der Marktpsychologie, der Betriebswirtschaft und der Organisationspsychologie formalisierte Entscheidungshilfe geboten scheint, dürfte offensichtlich sein.

Bei der Auswahl und Anwendung entscheidungsanalytischer Verfahren kann in der Regel ein Kompromiß zwischen formalen und inhaltlichen Ansprüchen gefunden werden: Der Komplexitätsgrad des inhaltlichen Problems muß nicht komplett abgebildet werden, indem von Unwesentlichem abstrahiert wird; den axiomatischen Voraussetzungen entscheidungstheoretischer Modelle ist in der Entscheidungsanalyse nur insoweit zu genügen, wie es die Sensitivität gegenüber Verletzungen nahelegt; der Anwenderfreundlichkeit der Erhebungstechniken ist zu genügen, indem Übersichtlichkeit gewährleistet und auf vertraute Denkmuster Rücksicht genommen wird.

Wenn hier für die Nutzung formalisierter Entscheidungshilfe plädiert wird, so auch deswegen, weil die Anwendung entscheidungsanalytischer Verfahren ganz wesentlich zur Transparenz der Entscheidungsfindung beiträgt. Dabei ist nämlich erforderlich, den Kenntnisstand und die Auffassungen des Entscheiders hinsichtlich eines problematischen Sachverhalts aufzudecken und festzuhalten. Dies betrifft die inhaltliche Kennzeichnung der relevanten Einflußgrößen; ihr Einfluß ist numerisch zu explizieren. Somit werden die den Entscheidungen zugrundeliegenden Meinungen und Werthaltungen transparent und nachvollziehbar. Meinungsverschiedenheiten und Konflikte zwischen Personen und Gruppen von Personen in bezug auf das, was die beste Entscheidung sei, können unter Nutzung entscheidungsanalytischer Verfahren zurückgeführt werden auf den jeweiligen Stellenwert der einbezogenen Sachverhalte. Zugleich können dabei die Ursachen von Entscheidungskonflikten aufgedeckt und Einigungsmöglichkeiten operationaler diskutiert werden. Ein derart offengelegter und aufgliederter Entscheidungsvorgang ermöglicht es auch eher, aus

Fehlentscheidungen zu lernen und Entscheidungen gezielt zu revidieren. Ein solches Vorgehen bei der Nutzung der Entscheidungstheorie als Entscheidungshilfe in komplexen Entscheidungssituationen erscheint besonders dann wesentlich, wenn es sich um institutionelle Entscheidungen handelt, deren Folgen auch für andere gravierend und langfristig wirksam sind.

Literatur

- Alpert, M. & Raiffa, H. A progress report on the training of probability assessors. Manuscript, Harvard University, 1969. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty. Heuristics and Biases*. New York, N. Y.: 1982, 294-305.
- Anderson, N. H. Cognitive algebra: Integration theory applied to social attribution. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (Vol. 7). New York, N. Y.: 1974 (a), 1-101.
- Anderson, N. H. Information integration theory: A brief survey. In D. H. Krantz, R. C. Atkinson, R. D. Luce & P. Suppes (Eds.), *Contemporary developments in mathematical psychology* (Vol. 2). San Francisco, Calif.: 1974 (b), 236-305.
- Arrow, K. J. *Social choice and individual values*. New York, N. Y.: 1951.
- Aschenbrenner, K. M. Influence of attribute formulation on the evaluation of apartments by multi-attribute utility procedures. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977 (a), 81-97.
- Aschenbrenner, K. M. Komplexes Wahlverhalten: Entscheidungen zwischen multiattributen Alternativen. In K. D. Hartmann & K. Koeppler (Hrsg.), *Fortschritte der Marktpsychologie* (Band 1). Frankfurt: 1977 (b), 21-52.
- Aschenbrenner, K. M., Jaus, D. & Villani, C. Hierarchical goal structuring and pupils job choices: Testing a decision aid in the field. *Acta Psychologica*, 1980, 45, 35-49.
- Barclay, S. & Beach, L. R. Combinatorial properties of personal probabilities. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1972, 8, 176-183.
- Bawa, V. S. Optimal rules for ordering uncertain prospects. *Journal of Financial Economics*, 1975, 2, 95-121.
- Bawa, V. S. Admissible portfolios for all individuals. *Journal of Finance*, 1976, 31, 1169-1183.
- Bayes, T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *The Philosophical Transactions*, 1763, 53, 370-418. *Biometrika*, 1958, 45, 293-315.
- Beach, B. H. Expert judgment about uncertainty: Bayesian decision making in realistic settings. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1975, 14, 10-59.
- Beach, B. H. & Beach, L. R. Expectancy-based decision schemes: Sidesteps toward applications. In N. T. Feather (Ed.), *Expectations and Actions*. Hillsdale, N.J.: 1982, 365-394.
- Beach, L. R., Campbell, F. L. & Townes, B. D. Subjective expected utility and the prediction of birth-planning decisions. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1974, 24, 18-28.

- Beach, L. R. & Peterson, C. R. Subjective probabilities for unions of events. *Psychonomic Science*, 1966, 5, 307-308.
- Bell, D. E., Keeney, R. L. & Raiffa, H. (Eds.), *Conflicting objectives in decisions*. New York, N. Y.: 1977.
- Berhold, N. Procedures to increase the validity of subjective probability estimates. *Decision Science*, 1975, 6, 721-730.
- Bettman, J. R. *An information processing theory of consumer choice*. Reading, Mass.: 1979.
- Birnbaum, M. H. The devil rides again: Correlation as an index of fit. *Psychological Bulletin*, 1973, 79, 239-242.
- Borcherding, K. *Subjektive Bestimmung der Erträge von Aktien für Entscheidungshilfe bei der Portfolio-Selektion: Theoretischer Bezugsrahmen und eine experimentelle Überprüfung*. Dissertation, Universität Mannheim, 1978.
- Borcherding, K. Successive evaluation of multiattribute decision alternatives. Contribution to the eighth Research Conference on Subjective Probability, Utility and Decision Making, Budapest: 1981.
- Borcherding, K. & Kistner, K. Entwicklung und Überprüfung eines Modells zur Gruppeneinigung in Choice-Dilemma-Situationen. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 1982, 13, 323-332.
- Borcherding, K. & Schaefer, R. E. Bayes-Statistik. In W. Tack (Hrsg.), *Bericht über den 29. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Göttingen: 1975, 417-419.
- Borcherding, K. & Schaefer, R. E. Konsensus bei Entscheidungen. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, Beiheft 2*, 1976, 47-61.
- Borcherding, K. & Schaefer, R. E. Aiding decision making and information processing. In M. Irle (Ed.), *Studies in decision making. Social psychological and socio-economic analyses*. Berlin/New York: 1982, 627-673.
- Brown, R. V., Kahr, A. S. & Peterson, C. R. *Decision analysis for the manager*. New York, N. Y.: 1974.
- Brown, R. V. & Ulvila, J. W. Selecting analytic approaches for decision situations. Technical Report 77-7-25, *Decisions and Designs*, McLean, VA: 1977.
- Bunn, D. W. & Thomas, H. Assessing subjective probability in decision analysis. In D. J. White & K. C. Bowen (Eds.), *The role and effectiveness of theories of decision in practice*. London: 1975, 117-127.
- Camerer, C. General conditions for the success of bootstrapping models. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1981, 27, 411-422.
- Carnap, R. *Logical foundations of probability*. Chicago, Ill.: 1950, 1962².
- Chernoff, H. Rational selection of decision functions. *Econometrica*, 1954, 22, 422-443.
- Chesley, G. R. Elicitation of subjective probabilities, a review. *Accounting Review*, 1975, 50, 325-337.
- Chesley, G. R. Subjective probability elicitation techniques: A Performance comparison. *Journal of Accounting Research*, 1978, 16, 225-241.
- Collet, P. The repertory grid in psychological research. In C. P. Ginsburg (Ed.), *Emerging strategies in social psychological research*. New York, N. Y.: 1979, 225-252.
- Coombs, C. H. Psychological scaling without a unit of measurement. *Psychological Review*, 1950, 57, 145-158.
- Coombs, C. H. *A theory of data*. New York, N. Y.: 1964.

- Coombs, C. H. Portfolio theory and the measurement of risk. In M. J. Kaplan & S. Schwartz (Eds.), *Human judgment and decision processes*. New York, N. Y.: 1975, 63-85.
- Coombs, C. H., Dawes, R. M. & Tversky, A. *Mathematical psychology. An elementary introduction*. Englewood Cliffs, N.J.: 1970.
- Coombs, C. H. & Kao, R. C. *Nonmetric factor analysis*, University of Michigan Engineering Research Institute Bulletin 38, Ann Arbor, Mich.: 1975.
- Cramer, H. *Mathematical methods of statistics*. Princeton, N.J.: 1954.
- Crott, H. W., Scholz, R. W., Ksiensik, M. I. & Popp, M. *Koalitionsbildung und Aufteilungsentscheidungen in Drei-Personen-Verhandlungen*. Frankfurt: 1983 (im Druck).
- Dalkey, N. Toward a theory of group estimation. In H. A. Linstone & M. Turoff (Eds.), *The Delphi method: Techniques and applications*. Reading, Mass.: 1975, 236-261.
- Davis, J. H. Group decision and social interaction: A theory of social decision schemes. *Psychological Review*, 1973, 80, 97-125.
- Davis, J. H. Group decisions and procedural justice. In M. Fishbein (Ed.), *Progress in social psychology*. Hillsdale, N.J.: 1980, 157-229.
- Dawes, R. M. Social selection based on multi-dimensional criteria. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 1964, 68, 104-109.
- Dawes, R. M. *Fundamentals of attitude measurement*. New York, N. Y.: 1972.
- Dawes, R. M. The robust beauty of improper linear models in decision making. *American Psychologist*, 1979, 34, 571-582.
- Dawes, R. M. & Corrigan, B. Linear models in decision making. *Psychological Bulletin*, 1974, 81, 95-106.
- DeGroot, M. H. Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association*, 1974, 69, 118-121.
- Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, T. Planen, Handeln und Entscheiden in sehr komplexen Realitätsbereichen. In W. Michaelis (Hrsg.), *Bericht über den 32. Kongreß der deutschen Gesellschaft für Psychologie in Zürich 1980*. Göttingen: 1981, 281-283.
- Dyer, J. S. & Sarin, R. K. Measurable multiattribute value functions. *Operations Research*, 1979, 27, 810-822.
- Edwards, W. Dynamit decision theory and probabilistic information processing. *Human Factors*, 1962, 4, 59-73.
- Edwards, W. „Social Utilities“. *The Engineering Economist, Summer Symposium Series*, 1972, 6, 119-129.
- Edwards, W. Comments on Hogarth: Cognitive processes. *Journal of the American Statistical Association*, 1975, 70, 271-289.
- Edwards, W. How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1977 (a), SMC-7, 326-340.
- Edwards, W. Use of multiattribute utility measurement for social decision making. In D. E. Bell, R. L. Keeney & H. Raiffa (Eds.), *Conflicting objectives in decisions*. New York, N. Y.: 1977 (b), 247-276.
- Edwards, W. Reflections on and criticism of a highly political multiattribute utility analysis. In L. Cobb & R. M. Thrall (Eds.), *Mathematical frontiers of behavioral and policy sciences*, Boulder, Col.: 1980, 157-186.
- Edwards, W., Lindman, H. & Savage, L.J. Bayesian statistical inference for psychological research. *Psychological Review*, 1963, 70, 193-242.

- Edwards, W. & Phillips, L. D. Man as transducer for probabilities in Bayesian command and control systems. In M. W. Shelly & G. L. Bryan (Eds.), *Human judgments and optimality*. New York, N. Y.: 1964, 360-401.
- Edwards, W., Phillips, L. D., Hays, W. L. & Goodman, B. C. Probabilistic information processing systems: Design and evaluation. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 1968, SSC-4, 248-265.
- Edwards, W. & Stillweh, W. G. Validation, error and simplification of decision technology. Research Report 80-5, Social Science Research Institute, University of Southern California, Los Angeles, Calif.: 1980.
- Einhorn, H. J. The use of nonlinear, noncompensatory models in decision making. *Psychological Bulletin*, 1970, 73, 221-231.
- Einhorn, H. J. Use of nonlinear, noncompensatory models as a function of task and amount of information. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1971, 6, 1-27.
- Einhorn, H. J. Learning from experience and suboptimal rules in decision making. In T. S. Wallsten (Ed.), *Cognitive processes in choice and decision behavior*. Hillsdale, N.J.: 1980 (a), 1-20.
- Einhorn, H. J. Overconfidence in judgment. *New Directions for Methodology of Social and Behavioral Science*, 1980 (b), 4, 1-16.
- Einhorn, H. J. & Hogarth, R. M. Unit weighting schemes for decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1975, 13, 171-192.
- Einhorn, H. J. & Hogarth, R. M. Behavioral decision theory: Processes of judgment and choice. *Annual Review of Psychology*, 1981, 32, 53-88.
- Einhorn, H. J., Kleinmuntz, D. N. & Kleinmuntz, B. Linear regression and process-tracing models of judgment. *Psychological Review*, 1979, 86, 465-485.
- Ellis, H. M. & Keeney, R. L. A rational approach for government decisions concerning air pollution. In A. W. Drake, R. L. Keeney & P. M. Morse (Eds.), *Analysis of public systems*. Cambridge, Mass.: 1972, 376-400.
- Epting, F. R., Suchman, L. & Nickeson, C. J. An evaluation of elicitation procedures for personal constructs. *British Journal of Psychology*, 1971, 62, 513-517.
- Farquhar, P. H. A Survey of multiattribute utility. Theory and applications. *TIMS Studies in the Management Science*, 1977, 6, 59-89.
- Farquhar, P. H. Advances in multiattribute Utility theory. *Theory and Decision*, 1980, 12, 381-394.
- Farquhar, P. H. Multivalent preference structures. *Mathematical Social Sciences*, 1981, 1, 397-408.
- Farquhar, P. H. Utility assessment methods. Working Paper 81-5, Graduate School of Administration, University of California, Davis: 1982.
- Ferrell, W. R. & McGoey, P. J. A model of calibration for subjective probabilities. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1980, 26, 32-53.
- de Finetti, B. Does it make sense to speak of 'good probability appraisers'? In I. J. Good (Ed.), *The scientist speculates*. London: 1962, 357-364.
- de Finetti, B. Methods for discriminating levels of partial knowledge concerning a test item. *The British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1965, 18, 87-123.
- de Finetti, B. Logical foundations and measurement of subjective probability. *Acta Psychologica*, 1970, 34, 129-145.
- Fischer, G. W. Four methods for assessing multiattribute Utilities: An experimental

- Validation. Technical Report, Engineering Psychological Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor: 1972.
- Fischer, G. W. Experimental applications of multi-attribute utility models. In D. Wendt & C. Vlek (Eds.), *Utility, probability, and human decision making*. Dordrecht: 1975, 7-46.
- Fischer, G. W. Multidimensional utility models for risky and riskless choices. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1976, 17, 127-146.
- Fischer, G. W. Convergent validation of decomposed multi-attribute utility assessment procedures for risky and riskless decisions. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1977, 18, 295-315.
- Fischer, G. W. Utility models for multiple objective decisions: Do they accurately represent human preferences? *Decision Sciences*, 1979, 10, 451-479.
- Fischhoff, B., Slovic, P. & Lichtenstein, S. Fault-trees: Sensitivity of estimated failure probabilities to problem representation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1978, 4, 330-344.
- Fishburn, P. C. Independence in Utility theory with whole product sets. *Operations Research*, 1965, 13, 28-45.
- Fishburn, P. C. Methods of estimating additive utilities. *Management Science*, 1967, 13, 435-453.
- Fishburn, P. C. *Utility theory for decision making*. New York, N. Y.: 1970.
- Fishburn, P. C. Lexicographic orders, Utilities and decision rules. *Management Science*, 1974, 20, 1442-1471.
- Fishburn, P. C. Subjective expected utility. A review of normative theories. *Theory and Decision*, 1981, 13, 139-199.
- Fishburn, P. C & Keeney, R. L. Generalized utility independence and some implications. *Operations Research*, 1975, 23, 928-940.
- Fisher, R. A. *Contribution to mathematical statistics*. New York, N. Y.: 1950.
- Francis, J. C & Archer, S. H. *Portfolio analysis*. Englewood Cliffs, N. J.: 1971.
- Fransella, F. & Bannister, D. *A manual for repertory grid techniques*. London: 1977.
- Frey, D. *Informationssuche und Informationsbewertung bei Entscheidungen*. Bern: 1981.
- Frey, D. & Ochsmann, R. Schematisierung von Entscheidungsprozessen. In M. Irle (Hrsg.), *Attraktivität von Entscheidungsalternativen und Urteilssicherheit*. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, Beiheft 4*, 1977, 20-28.
- Fryback, D. G. & Keeney, R. L. An index of trauma severity based on multiattribute Utility: An illustration of complex utility modelling. Technical Report 81-6, Decision Analysis Group, Woodward-Clyde Consultants. San Francisco, Calif.: 1981.
- Gabrielli, W. F. & von Winterfeldt, D. Are importance weights sensitive to the range of alternatives in multiattribute utility measurement? Research Report 78-6, Social Science Research Institute, University of Southern California, Los Angeles: 1978.
- Gäffgen G. *Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung*. Tübingen: 1963.
- Goldberg, L. R. Simple models or simple processes? Some research on clinical judgments. *American Psychologist*, 1968, 23, 483-496.
- Goldberg, L. R. The search for configural relationships in personality assessments: The diagnosis of psychosis versus neurosis from the MMPI. *Multivariate Behavioral Research*, 1969, 4, 523-536.
- Goldberg, L. R. Man versus model of man. A rationale plus some evidence for a method of improving on clinical inferences. *Psychological Bulletin*, 1970, 73, 422-432.

- Goldberg, L. R. Five models of clinical judgment: An empirical comparison between linear and nonlinear representation of the human inference process. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1971, 6, 458-479.
- Hadar, J. & Russell, W. R. Rules for ordering uncertain prospects. *American Economic Review*, 1969, 59, 25-34.
- Hadar, J. & Russell, W. R. Stochastic dominance and diversification. *Journal of Economic Theory*, 1971, 3, 288-305.
- Halter, A. N. & Dean, G. W. *Decisions under uncertainty*. Cincinnati, Ohio: 1971.
- Harnmond, K. R., McClelland, G. H. & Mumpower, J. *Human judgment and decision making: Theories, methods, and procedures*. New York, N. Y.: 1980.
- Harnmond, K. R., Stewart, T. R., Brehmer, B. & Steinmann, D. Social judgment theory. In M. Kaplan & S. Schwartz (Eds.), *Human judgment and decision processes: Formal and mathematical approaches*. New York, N. Y.: 1975, 271-312.
- Harnmond, K. R. & Summers, D. A. Cognitive dependence on linear and nonlinear cues. *Psychological Review*, 1965, 72, 215-224.
- Hampton, G. M., Moore, P. G. & Thomas, H. Subjective probability and its measurement. *The Journal of the Royal Statistical Society, Series A.*, 1973, 136, 21-42.
- Hanoch, G. & Levy, H. The efficiency analysis of choices involving risk. *Review of Economic Studies*, 1969, 36, 335-346.
- Hershey, J. C., Kunreuther, H. C. & Shoemaker, P. J. H. Bias in assessment procedures for utility functions. *Management Science*, 1982, 28, 936-954.
- Heuberger, N. *Der computerunterstützte Aufbau von Nutzenfunktionen in Risikoentscheidungsproblemen mit mehrfacher Zielsetzung*. Winterthur: 1977.
- Hill, P. H. *Making decisions*. Reading, Mass.: 1979.
- Hodges, J. L. & Lehman, E. L. The use of previous experience in reading statistical decisions. *Annals of Mathematical Statistics*, 1952, 23, 396-407.
- Hoffman, P. J. & Blanchard, W. A. A study of the effects of varying amounts of predictor information on judgment. *Oregon Research Institute Research Bulletin*, University of Oregon, Eugene: 1961.
- Hoffman, P. J., Slovic, P. & Rorer, L. G. An analysis of variance model for the assessment of configural cue utilization in clinical judgment. *Psychological Bulletin*, 1968, 69, 338-349.
- Hogarth, R. M. Cognitive processes and the assessment of subjective probability distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 1975, 70, 271-289.
- Hogarth, R. M. Methods for aggregating opinions. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 231-255.
- Hogarth, R. M. *Judgement and choice: The psychology of decision*. New York, N. Y.: 1980.
- Hogarth, R. M. Beyond discrete biases: Functional and dysfunctional aspects of judgmental heuristics. *Psychological Bulletin*, 1981, 90, 197-217.
- Howard, R. A. Proximal decision analysis. *Management Science*, 1971, 17, 507-541.
- Howell, W. C. & Fleishman, E. A. *Information processing and decision making*. Hillsdale, N.J.: 1981.
- Huber, G. P. Methods for quantifying subjective probabilities and multi-attribute Utilities. *Decision Science*, 1974, 5, 430-458.
- Huber, G. P. & Delbecq, A. Guidelines for combining the judgments of individual members in decision conferences. *Academy of Management Journal*, 1972, 15, 161-174.

- Hull, J., Moore, P. G. & Thomas, H. Utility and its measurement. *The Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 1973, 136, 226-247.
- Humphreys, A. & Humphreys, P. C. An investigation of subjective preference orderings for multi-attributed alternatives. In D. Wendt & C. Vlek (Eds.), *Utility, probability and human decision making*. Dordrecht: 1975, 119-133.
- Humphreys, P. C. Application of multi-attribute utility theory. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 165-207.
- Humphreys, P. C. Decision aids: Aiding decisions. In L. Sjöberg, T. Tyska & J. A. Wise (Eds.), *Decision analysis and decision processes*. Lund: 1983 (in press).
- Humphreys, P. C. & McFadden, W. Experiences with MAUD: Aiding decision structuring versus bootstrapping the decision maker. *Acta Psychologica*, 1980, 45, 51-69.
- Humphreys, P. C. & Wisudha, A. MAUD 4 -An interactive computer program for the structuring, decomposition and recomposition of preferences between multiattributed alternatives. Technical Report 81-5, Decision Analysis Unit, Brunel University. Uxbridge, Middlesex: 1981.
- Humphreys, P. C., Wooller, S. & Phillips, L. D. Structuring decisions: The role of structuring heuristics. Technical Report 80-1, Decision Analysis Unit, Brunel University. Uxbridge, Middlesex: 1980.
- Hwang, C. L. *Multiple objective decision making - methods and applications*. Berlin: 1979.
- Irlle, M. *Macht und Entscheidungen in Organisationen*. Frankfurt: 1971.
- Isermann, H. Strukturierung von Entscheidungsprozessen bei mehrfacher Zielsetzung. *Operations Research Spektrum*, 1979, 1, 3-26.
- Jacoby, J. Perspective on a consumer information processing research program. *Communication Research*, 1975, 2, 203-215.
- Janis, I. & Mann, L. *Decision making. A psychological analysis of conflict, choice, and commitment*. New York, N. Y.: 1979.
- Jeffreys, H. *Theory of probability*. Oxford: 1938, 1961³.
- John, R. S. & Edwards, W. Importance weight assessment for additive, riskless preference functions: A review. Technical Report 78-5, Social Science Research Institute, University of Southern California, Los Angeles: 1978 (a).
- John, R. S. & Edwards, W. Subjective versus statistical importance weights: A criterion validation. Research Report 78-7, Social Science Research Institute, University of Southern California, Los Angeles: 1978 (b).
- John, R. S., Edwards, W. & Collins, L. A comparison of importance weights for multiattribute utility analysis derived from holistic, indifference, direct subjective and rank order judgments. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1983 (in press).
- Johnson, E. J. & Russe, J. E. Product familiarity and learning new information. In K. B. Monroe (Ed.), *Advances in consumer research* (Vol. 8.). Ann Arbor, Mich.: 1981, 151-155.
- Johnson, E. M. & Huber, G. P. The technology of utility assessment. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1977, SMC-7, 311-325.
- Johnson, L. C. & Mai, N. Decomposition techniques: Linear versus nonlinear models. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1979, 24, 60-66.
- Jones, A. J. *Game theory*. Chichester: 1980.

- Jungermann, H. *Rationale Entscheidungen*. Bern: 1976.
- Jungermann, H. Cognitive processes and societal risk taking/Comments. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 37-43.
- Jungermann, H. Speculations about decision theoretic aids for personal decision making. *Acta Psychologica*, 1980, 45, 7-34.
- Jungermann, H., Franke, G. & Schneider, B. *Beratung bei Schwangerschaftskonflikt:...*. Stuttgart: 1982.
- Jungermann, H., von Ularadt, I. & Hausmann, L. The role of the goal for generating actions. In P. C. Humphreys, O. Svenson & A. Vari (Eds.), *Analysing and aiding decision processes*. Amsterdam: 1983 (in press).
- Kahneman, D. & Tversky, A. Prospect theory. An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 1979, 47, 263-292.
- Karmarkar, U. S. Subjectively weighted utility: A descriptive extension of the expected utility model. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1978, 21, 61-72.
- Keeney, R. L. Utility independence and preferences for multiattribute consequences. *Operations Research*, 1971, 19, 875-893.
- Keeney, R. L. Utility functions for multiattributed consequences. *Management Science*, 1972, 18, 276-287.
- Keeney, R. L. Multiplicative utility functions. *Operations Research*, 1974, 22, 22-34.
- Keeney, R. L. A Utility function for examining policy affecting salmon in the cheena river. Research Memorandum 76-5, International Institute of Applied System Analysis, Laxenburg: 1976.
- Keeney, R. L. The art of assessing multiattribute utility functions. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1977, 19, 267-310.
- Keeney, R. L. How to cope with increasing complexity. *Management Review*, 1979, 68, 24-40.
- Keeney, R. L. Evaluation of mortality risks from an organizational perspective. In P. C. Humphreys, O. Svenson & A. Vari (Eds.), *Analysing and aiding decision processes*. Amsterdam: 1983 (a) (in press).
- Keeney, R. L. Decision analysis: An overview. *Operations Research*, 1982, 30, 803-838.
- Keeney, R. L. & Raiffa, H. *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*. New York, N. Y.: 1976.
- Keeney, R. L. & Sichertman, A. Assessing and analyzing preferences concerning multiple objectives: An interactive computer program. *Behavioral Science*, 1976, 21, 173-182.
- Kelly, C. W. *Decision aids: Engineering science and clinical art*. Technical Report, Decisions and Designs, McLean, VA: 1978.
- Kelly, C. W. & Barclay, S. A general Bayesian model for hierarchical inference. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1973, 10, 388-403.
- Kelly, G. A. *The psychology of personal constructs*. New York, N. Y.: 1955.
- Keren, G. & Newman, J. R. Additional considerations with regard to multiple regression and equal weighting. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1978, 22, 143-164.
- Keynes, J. M. *A treatise on probability*. London: 1921, 1929²; New York, N. Y.: 1962.
- Kleinmuntz, D. N. & Kleinmuntz, B. Decision strategies in simulated environments. *Behavioral Science*, 1981, 26, 294-305.
- Kleiter, G. D. *Bayes-Statistik. Grundlagen und Anwendungen*. Berlin: 1981.

- Kneppreth, N. P., Gustafson, D. H., Leifer, R. P. & Johnson, E. M. Techniques for the assessment of worth. Technical Paper 254, U. S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Arlington, VA: 1974.
- Kogan, N. & Wallach, M. A. Risk taking: A study in cognition and personality. New York, N. Y.: 1964.
- Kolmogorov, A. N. Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin: 1933.
- Krantz, D. H., Luce, R. D., Suppes, P. & Tversky, A. Foundations of measurement (Vol. 1). New York, N. Y.: 1971.
- Krantz, D. H. & Tversky, A. Conjoint-measurement analysis of composition rules in psychology. *Psychological Review*, 1971, 78, 151-169.
- Krischer, J. P. An annotated bibliography of decision analytic applications to health care. *Operations Research*, 1980, 28, 97-113.
- Krzysztofowicz, R. & Duckstein, L. Assessment errors in multiattribute utility functions. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1980, 26, 326-348.
- Lee, W. Decision theory and human behavior. New York, N. Y.: 1971.
- Lee, W. Psychologische Entscheidungstheorie. Weinheim: 1977.
- Levy, H. & Hanoch, G. Relative effectiveness of efficiency criteria for portfolio selection. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1970, 5, 63-76.
- Levy, H. & Sarnat, M. Alternative efficiency criteria. An empirical analysis. *Journal of Finance*, 1970, 25, 1153-1158.
- Lichtenstein, S. & Fischhoff, B. Training for calibration. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1980, 26, 149-171.
- Lichtenstein, S., Fischhoff, B. & Phillips, L. D. Calibration of probabilities: The state of the art. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 275-324.
- Lichtenstein, S., Fischhoff, B. & Phillips, L. D. Calibration of probabilities: The state of the art to 1980. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty. Heuristics and biases*. New York, N. Y.: 1982, 306-351.
- Lichtenstein, S. & Newman, J. R. Empirical scaling of common verbal phrases associated with numerical probabilities. *Psychonomic Science*, 1967, 7, 563-564.
- Linstone, H. A. & Turoff, M. (Eds.), *The Delphi method: Techniques and applications*. Reading, Mass.: 1975.
- Luce, R. D. & Raiffa, H. *Games and decisions*. New York, N. Y.: 1957.
- Luce, R. D. & Tukey, J. W. Simultaneous conjoint measurement: A new type of fundamental measurement. *Journal of Mathematical Psychology*, 1964, 1, 1-27.
- Ludke, R. L., Stauss, F. F. & Gustafson, D. H. Comparison of five methods for estimating subjective probability distributions. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1977, 19, 162-179.
- MacCrimmon, K. R. An overview of multiple objective decision making. In I. G. Cochrane & M. Zeleny (Eds.), *Multiple criteria decision making*. Columbia, S. C.: 1973, 18-44.
- MacCrimmon, K. R. & Taylor, R. N. Decision making and problem solving. In M. D. Dunnette (Ed.), *Handbook of industrial and organizational psychology*. Chicago, Ill.: 1976, 1397-1453.
- Mai, N. & Hachmann, E. Anwendung des Bayes-Theorems in der medizinischen Diagnostik - Eine Literaturübersicht. *Metamed*, 1977, 1, 161-205.
- Markowitz, H. *Portfolio selection: Efficient diversification of investments*. New York, N. Y.: 1959, 1970².

- Maurer, K., Aufsattler, W. & Gerdts, U. Der Nutzen der Umstellung auf ein alternatives Nahverkehrssystem. Bericht aus dem Sonderforschungsbereich 24, Universität Mannheim: 1982.
- Meyer, R. F. State-dependent time preference. In D. E. Bell, R. L. Keeney & H. Raiffa (Eds.), *Conflicting objectives in decisions*. New York, N. Y.: 1977, 232-244.
- Miller, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 1956, 63, 81-97.
- Milnor, J. Games against nature. In R. M. Thrall, C. H. Coombs & R. L. Davis (Eds.), *Decision processes*. New York, N. Y.: 1954, 49-59.
- von Mises, R. *Probability, statistics, and truth*. London: 1939; New York, N. Y.: 1957.
- Montgomery, H. A study of intransitive preferences using a think aloud procedure. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 347-362.
- Montgomery, H. Process models and decision making. In P. C. Humphreys, O. Svenson & A. Vari (Eds.), *Analysing and aiding decision processes*. Amsterdam: 1983 (in press).
- Montgomery, H. Process models and decision making. In P. C. Humphreys, O. Svenson & A. Vari (Eds.), *Analysing and aiding decision processes*. Amsterdam: 1983 (in press).
- Moore, M. H. Policy towards heroin use in New York City. Doctoral dissertation, Harvard University, Cambridge, Mass.: 1973.
- Murphy, A. H. & Epstein, E. S. Verification of probabilistic predictions: A brief review. *Journal of Applied Meteorology*, 1967, 6, 748-755.
- van Naerssen, R. F. A scale for the measurement of subjective probability. *Acta Psychologica*, 1962, 20, 159-166.
- von Neumann, J. & Morgenstern, O. *Theory of games and economic behavior*. Princeton, N.J.: 1944, 1947².
- Neumann, K. *Operations Research Verfahren*. München, 1975.
- de Neufville, R. & Keeney, R. L. Use of decision analysis in airport development for Mexico City. In A. W. Drake, R. L. Keeney & P. M. Morse (Eds.), *Analysis of public Systems*. Cambridge, Mass.: 1972, 497-519.
- Newell, A. & Simon, H. A. *Human Problem solving*. Englewood Cliffs, N. J.: 1972.
- Niehans, H. Zur Preisbildung bei ungewissen Erwartungen. *Schweizer Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik*, 1948, 84, 433-456.
- Nunnally, J. C. *Psychometric theory*. New York, N. Y.: 1978.
- Orth, B. *Einführung in die Theorie des Messens*. Stuttgart: 1974.
- Oskamp, S. Overconfidence in case-study judgments. *Journal of Consulting Psychology*, 1965, 29, 261-265.
- Payne, J. W. Information processing theory: Some concepts and methods applied to decision research. In T. S. Wallsten (Ed.), *Cognitive processes in choice and decision behavior*. Hillsdale, N.J.: 1980, 95-115.
- Pearl, J., Leal, A. & Saleh, J. GODDESS: A goal-directed decision structuring system. UCLA-ENG-CSL-8034, School of Engineering and Applied Sciences, University of California, Los Angeles: 1980.
- Peterson, C. R., Schneider, R. J. & Miller, A. J. Sample size and the revision of subjective probabilities. *Journal of Experimental Psychology*, 1965, 69, 522-527.
- Pfohl, H.-C. Messung subjektiver Wahrscheinlichkeiten. In H.-C. Pfohl & B. Rürup (Hrsg.), *Materialien zur Betriebs- und Volkswirtschaft* (Bd. 2). Köln: 1977, 23-36.

- Phillips, L. D. & Edwards, W. Conservatism in a simple probability inference task. *Journal of Experimental Psychology*, 1966, 72, 346-354.
- Pras, B. Explaining consumer decision making through evaluation process models. In E. Topritzhofner (Hrsg.), *Marketing*. Wiesbaden: 1978, 145-162.
- Pras, B. & Summers, J. O. Perceived risk and composition models for multiattribute decisions. *Journal of Marketing Research*, 1978, 15, 429-437.
- Pratt, J. W. Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*, 1964, 32, 122-136.
- Pratt, J. W., Raiffa, H. & Schlaifer, R. O. *Introduction to statistical decision theory*. New York, N. Y.: 1965.
- Raiffa, H. *Decision analysis. Introductory lectures on choices under uncertainty*. Reading, Mass.: 1968.
- Raiffa, H. Preferences for multi-attributed alternatives. Memorandum RM-5868-DOT/RC, The RAND Corporation. Santa Monica, Calif.: 1969.
- Reichenbach, H. *The theory of probability*. Berkeley, Calif.: 1949, 1971².
- Rittel, H. Zur wissenschaftlichen und politischen Bedeutung der Entscheidungstheorie. In H. Krauch, W. Konz & H. Rittel (Hrsg.), *Forschungsplanung- eine Studie über Ziele und Strukturen amerikanischer Forschungsinstitute*. München, Wien: 1966, 110-129.
- Rivett, P. *Model building for decision analysis*. New York, N. Y.: 1980.
- Rohrmann, B. Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 1978, 9, 222-245.
- Russell, B. *Human knowledge*. London: 1948.
- Russo, J. E. Comments on behavioral and economic approaches to studying market behavior. In A. A. Mitchell (Ed.), *The effect of information on consumer and market behavior*. Chicago, Ill.: 1978, 65-74.
- Russo, J. E. & Johnson, E. J. What do consumers know about familiar products. In J. C. Olson (Ed.), *Advances in consumer research (Vol. 7)*. Ann Arbor, Mich.: 1980, 417-123.
- Russo, J. E. & Rosen, L. D. An eye fixation analysis of multi-alternative choice. *Memory and Cognition*, 1975, 3, 267-276.
- Savage, L. J. The theory of statistical decision. *Journal of the American Statistical Association*, 1951, 46, 55-67.
- Savage, L.J. *The foundations of statistics*. New York, N. Y.: 1954.
- Sayeki, Y. An inconsistency in M-V analysis for risk. Unpublished manuscript, Department of Industrial Administration, Tokyo University of Science: 1976.
- Schaefer, R. E. *Probabilistische Informationsverarbeitung: Theorie, Methoden und ein Experiment*. Bern: 1976 (a).
- Schaefer, R. E. The evaluation of individual and aggregated subjective probability distributions. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1976 (b), 17, 199-210.
- Schaefer, R. E. Empirische Überprüfung eines Markoff-Modells für Konsensusbildung in Gruppen. In W. Tack (Hrsg.), *Bericht über den 30. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Göttingen: 1977, 265-267.
- Schaefer, R. E. & Borchering, K. The assessment of subjective probability distributions: A training experiment. *Acta Psychologica*, 1973, 37, 117-129.
- Schaefer, R. E., Borchering, K. & Laemmerhold, C. Consistency of future event assessments. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 331-345.

- Schlaifer, R. Analysis of decisions under uncertainty. New York, N. Y.: 1969.
- Schmitt, N. & Levine, R. L. Statistical and subjective weights: Some problems and proposals. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1977, 20, 15-30.
- Schneeweiß, H. Entscheidungskriterien bei Risiko. Berlin: 1967.
- Schoemaker, P. J. H. Experiments on decisions under risk: The expected utility hypothesis. Boston, Mass.: 1980.
- Schoemaker, P. J. H. The expected utility model: Its variants, purposes, evidence and limitations. Center for Decision Research, The Graduate School of Business, University of Chicago: 1981.
- Schoemaker, P. J. H. & Waid, C. C. Different approaches to determining weights in additive utility models. *Management Science*, 1982, 28, 182-196.
- Schrenk, L. P. Aiding the decision maker: A decision process model. *Ergonomics*, 1969, 12, 543-557.
- Schütt, K. P. Wahrscheinlichkeitsschätzungen im Computer-Dialog. Stuttgart: 1981.
- Scott, D. & Suppes, P. Foundational aspects of theories of measurement. *Journal of Symbolic Logic*, 1958, 23, 113-128.
- Seaver, D. A. Assessment of group preferences and group uncertainty for decision making. Research Report 76-4, Social Science Research Institute, University of Southern California. Los Angeles: 1976.
- Seaver, D. A. Assessing uncertainty with multiple persons. Doctoral dissertation, University of Michigan, Ann Arbor: 1978.
- Seaver, D. A., von Winterfeldt, D. & Edwards, W. Eliciting subjective probability distributions on continuous variables. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1978, 21, 379-391.
- Sen, A. K. Collective choice and social welfare. San Francisco, Calif.: 1970.
- Shapiro, L. Necessary and sufficient conditions for expected utility maximization: The finite case, with a partial order. *Annals of Statistics*, 1979, 7, 1288-1302.
- Sharpe, W. F. Portfolio theory and capital markets. New York, N. Y.: 1970.
- Shepard, R. N. On subjectively Optimum selections among multiattribute alternatives. In M. W. Shelley & G. L. Bryan (Eds.), *Human judgments and optimality*. New York, N. Y.: 1964, 257-281.
- Shuford, E. H., Albert, A. & Massengill, H. E.: Admissible probability measurement procedures. *Psychometrika*, 1966, 31, 125-145.
- Simon, H. A. Models of man. New York, N. Y.: 1957.
- Six, U. Sind Gruppen radikaler als Einzelpersonen? Ein Beitrag zum Risikoschub-Phänomen. Darmstadt: 1981.
- Sixtl, F. Meßmethoden der Psychologie. Weinheim: 1967/1, 1981².
- Slovic, P. Consistency of choice between equally valued alternatives. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1975, 1, 280-287.
- Slovic, P., Fischhoff, B. & Lichtenstein, S. Behavioral decision theory. *Annual Review of Psychology*, 1977, 28, 1-39.
- Slovic, P. & Lichtenstein, S. Comparison of Bayesian and regression approaches to the study of information processing in judgments. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1971, 6, 649-744.
- Spetzler, C. S. & Staël von Holstein, C.-A. S. Probability encoding in decision analysis. *Management Science*, 1975, 22, 340-358.
- Spitzer, R. L. & Endicott, J. Can the computer assist clinicians in psychiatric diagnosis? *American Journal of Psychiatry*, 1974, 131, 523-530.

- Staël von Holstein, C.-A. S. Assessment and evaluation of subjective probability distributions. EFI, The Economic Research Institute at the Stockholm School of Economics, Stockholm, 1970.
- Staël von Holstein, C.-A. S. The continuous ranked probability score in practice. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 262-273.
- Stasser, G., Kerr, N. L. & Davis, J. H. Influence processes in decision making groups: A modeling approach. In P. B. Paulus (Ed.), *Psychology of group influence*. Hillsdale, N.J.: 1980, 431-477.
- Stegmüller, W. *Personelle und statistische Wahrscheinlichkeit*. Berlin: 1973.
- Stillwell, W. G., Seaver, D. A. & Edwards, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1981, 28, 62-77.
- Stone, D. R. & Johnson, R. T. A study of words indicating frequency. *Journal of Educational Psychology*, 1959, 50, 224-227.
- Suppes, P. & Zinnes, J. L. Basic measurement theory. In R. D. Luce, R. R. Bush & E. Galanter (Eds.), *Handbook of mathematical psychology* (Vol. 1). New York, N. Y.: 1963, 1-76.
- Svenson, O. Process descriptions of decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1979, 23, 86-112.
- Tack, W. H. Diagnostik als Entscheidungshilfe. In K. Pawlik (Hrsg.), *Diagnose der Diagnostik*. Stuttgart: 1976, 103-130.
- Toda, M. Indifference-map method for estimating utility functions. HRP-1-71-12, Department of Psychology, Hokkaido University, Sapporo: 1971.
- Toda, M. A computational procedure for obtaining additive Utility functions from observed indifference curves. HRP-3-74-15, Department of Psychology, Hokkaido University, Sapporo: 1974.
- Torgerson, W. S. *The theory and methods of scaling*. New York, N. Y.: 1958.
- Tversky, A. Intransitivity of preferences. *Psychological Review*, 1969, 76, 31-98.
- Tversky, A. Elimination by aspects: A theory of choice. *Psychological Review*, 1972, 79, 281-299.
- Tversky, A. On the elicitation of preferences: Descriptive and prescriptive considerations. In D. E. Bell, R. L. Keeney & H. Raiffa (Eds.), *Conflicting objectives in decisions*. New York, N. Y.: 1977, 209-222.
- Tversky, A. & Kahneman, D. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. In D. Wendt & C. Vlek (Eds.), *Utility, probability, and human decision making*. Dordrecht: 1975, 141-162.
- Tversky, A. & Kahneman, D. Causal Schemas in judgments under uncertainty. In M. Fishbein (Ed.), *Progress in social psychology*. Hillsdale, N.J.: 1980, 49-72.
- Tversky, A. & Kahneman, D. The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 1981, 211, 453-458.
- Vlek, C. & Wagenaar, W. Judgment and decision under uncertainty. In J. A. Michon, G. J. Eijkman & L. F. W. de Klerk (Eds.), *Handbook of Psychonomics*. Amsterdam: 1978, 253-345.
- Wagner, H. M. *Principles of operations research*. London: 1975.
- Wagner, G., Tautu, P. & Wolber, U. *Problems of medical diagnosis - A bibliography - Methods of Information in Medicine*, 1978, 17, 55-74.
- Wald, A. *Statistical decision functions*. New York, N. Y.: 1950.

- Wallsten, T. S. Measurement and interpretation of beliefs: A review. In H. Jungermann & G. de Zeeuw (Eds.), *Decision making and change in human affairs*. Dordrecht: 1977, 369-393.
- Wallsten, T. S. Cognitive processes in choice and decision behavior. Hillsdale, N. J.: 1980.
- Wallsten, T. S., Budescu, D. V. Encoding subjective probabilities: A psychological and psychometric review. University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill: 1980.
- Weiss, J. J. CVAL and GENTREE: Two approaches to problem structuring in decision aids. Technical Report 80-3-97, Decisions and Designs, McLean, VA: 1980.
- Wendt, D. Entscheidungsverhalten in Gruppen. In E. H. Witte (Hrsg.), *Beiträge zur Sozialpsychologie*. Weinheim: 1980, 19-47.
- Wendt, D. Statistische Entscheidungstheorie und Bayes-Statistik. In J. Bredenkamp & H. Feger (Hrsg.), *Forschungsmethoden der Psychologie (Band 5)*, Göttingen: 1983 (im Druck).
- Whitmore, G. A. Third order stochastic dominance. *American Economic Review*, 1970, 50, 457-459.
- Winkler, R. L. The assessment of prior distributions in Bayesian analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 1967, 62, 776-800.
- Winkler, R. L. Scoring rules and the evaluation of probability assessors. *Journal of the American Statistical Association*, 1969, 64, 1073-1078.
- Winkler, R. L. An introduction to Bayesian inference and decision. New York, N. Y.: 1972.
- Winkler, R. L. & Murphy, A. H. „Good“ probability assessors. *Journal of Applied Meteorology*, 1968, 7, 751-758.
- von Winterfeldt, D. Functional relationship between risky and riskless multiattribute Utility functions. Research Report 79-3, Social Science Research Institute, University of Southern California, Los Angeles: 1979.
- von Winterfeldt, D. Additivity and expected utility in risky multiattribute preferences. *Journal of Mathematical Psychology*, 1980 (a), 21, 66-82.
- von Winterfeldt, D. Structuring decision problems for decision analysis. *Acta Psychologica*, 1980 (b), 45, 71-93.
- von Winterfeldt, D., Barron, F. H., & Fischer, G. W. Theoretical and empirical relationship between risky and riskless utility functions. Research Report 80-3, Social Science Research Institute, University of Southern California, Los Angeles: 1980.
- von Winterfeldt, D. & Edwards, W. Costs and payoffs in perceptual research. *Psychological Bulletin*, 1982, 91, 609-622.
- von Winterfeldt, D. & Fischer, G. W. Multi-attribute Utility theory: Models and assessment procedures. In D. Wendt & C. Vlek (Eds.), *Utility, probability, and human decision making*. Dordrecht: 1975, 47-85.
- Yntema, D. B. & Torgerson, W. S. Man-Computer cooperation in decisions requiring common sense. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, 1961, HFE-2, 20-26.
- de Zeeuw, G. & Wagenaar, W. A. Are subjective probabilities probabilities? In C.-A. S. Staël von Holstein (Ed.), *The concept of probability in psychological experiments*. Dordrecht: 1974, 73-101.