

1 Einleitung

1.1 Problemstellung & Ziel der Arbeit

In der heutigen modernen und digitalen Gesellschaft werden immer schwierigere und komplexere Optimierungsprobleme gelöst. In vielen Fällen sind diese Probleme durch eine Vielzahl an konkurrierenden Zielen gekennzeichnet. Außerdem beinhalten sie eine Menge Quellen an Unsicherheiten, wie zum Beispiel: ungewisse zukünftige Entwicklungen oder ungewisse Konsequenzen von Entscheidungen. Ein Beispiel zu einem Mehrziel-Problem mit konfliktären Zielgrößen aus dem ökonomischen Kontext wäre der Umgang von Unternehmen mit der COVID-19-Pandemie. Hier sind beispielhaft mehrere Zielgrößen zu nennen, die ein Unternehmen erreichen will, z. B. Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter, die Aufrechterhaltung des Geschäftsbetriebs oder die finanzielle Stabilität des Unternehmens. Die Unsicherheit wird dadurch geprägt, dass eine Pandemie in der Form für alle eine neue und unvorhersehbare Situation darstellt. Sie drückt sich beispielhaft explizit durch den Verlauf der Pandemie, die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Eindämmung, die Nachfrage auf dem Markt und die Verfügbarkeit von Lieferketten aus. So waren die Unternehmen gezwungen viele ungewisse Entscheidungen zu treffen, wie z. B. die Einführung von Homeoffice-Maßnahmen, die Anpassung von Produktionsprozessen oder die Aufnahme von staatlichen Hilfen, um die Auswirkungen der Pandemie auf den Erfolg von Unternehmen abzumildern. Dieses aktuelle Beispiel zeigt den Balanceakt zwischen konkurrierenden Zielen und den ungewissen zukünftigen Entwicklungen und führt zu der allgemeinen Frage, wie Menschen oder Unternehmen auf extreme ungewisse zukünftige Entwicklungen bzw. deren Konsequenzen für den oder die Entscheider innerhalb eines Mehrzielproblems reagieren bzw. entscheiden.

Die bisherige ökonomische Forschung zum empirischen Entscheidungsverhalten hat sich im Wesentlichen auf die Situation bei Unsicherheit, hiermit ist das Vorhandensein von subjektiven oder objektiven Wahrscheinlichkeitsurteilen gemeint, und auf monokriterielle Entscheidungsprobleme beschränkt. Die Annahme, dass Wahrscheinlichkeitsverteilungen in irgendeiner Form vorhanden sind, kann zu Entschei-

dungen führen, die sehr empfindlich auf kleine Änderungen eines gewählten Modells reagieren, was die optimale Entscheidung stark beeinflussen kann.¹ Grundsätzlich kann dieses Problem mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen bezüglich der Wahrscheinlichkeitsannahmen analysiert werden. Oder bei der Modellierung des Entscheidungsproblems fließen von vornherein unvollständige Informationen bezüglich der Wahrscheinlichkeitsannahmen mit ein. Damit ist gemeint, dass ein Entscheider keine exakten Wahrscheinlichkeiten artikulieren kann. Allerdings kennt er Bereiche, in denen sich die Wahrscheinlichkeitsverteilungen² bewegen, sodass er trotz der unvollständigen Informationen eine mögliche Menge an optimalen Alternativen finden kann.³ Diese Arbeit erweitert diese Sichtweise, indem nun keine Annahmen über Wahrscheinlichkeitsverteilungen existieren und ein Entscheider keinerlei Information über mögliche Eintrittswahrscheinlichkeiten kennt. Durch Wegfall dieser Annahme können nur schwer optimale Alternativen gefunden werden, da Aussagen über mögliche Zustände unbekannt bleiben. Deshalb nutzt diese Arbeit das Konzept der Robustheit. Robustheit bedeutet, dass sich ein Entscheider unter Definition von bestimmten Effizienzkonzepten gegen zukünftige Entwicklungen absichert.⁴ Im Extremfall können diese Effizienzkonzepte pessimistische oder auch optimistische Sichtweisen auf zukünftige Entwicklungen einnehmen, aber auch Abstufungen sind bei diesen Konzepten denkbar und bereits entwickelt worden. Da in späteren Teilen dieser Arbeit explizit nicht mit Wahrscheinlichkeitsurteilen gearbeitet wird, werden die Begriffe Optimismus im Sinne von Risikofreude und Pessimismus für Risikoaversität verwendet, wobei die Begriffe Risikofreude und Risikoaversität nur für den Fall von vorhandenen Wahrscheinlichkeitsurteilen reserviert sind. Es ist eines der Ziele der Arbeit das Entscheidungsverhalten hinsichtlich robuster Alternativen zu untersuchen, die eben bei stärkeren Formen der Unsicherheit noch gute Ergebnisse liefern.⁵ Deshalb werden in dieser Arbeit in einem ersten Schritt die optimistischen und pessimistischen Konzepte der robusten multikriteriellen Optimierung genutzt. Die robuste multikriterielle Optimierung ist ein sich entwickelnder Forschungsstrang, der speziell darauf abzielt, robuste Lösungen bzw. Alternativen zu finden, die ausreichend immun gegen Unsicherheiten

¹ Vgl. Asimit und Boonen 2018, S. 28.

² Hier ist ebenfalls eine Menge an verschiedenen zulässigen Nutzenfunktionen denkbar.

³ Vgl. Eisenführ und Weber 1999, S. 258 ff.

⁴ Vgl. Schneeweiß 1992, S. 157.

⁵ Vgl. Shavazipour et al. 2021, S. 105.

sind.⁶ In Bezug auf die multikriterielle Entscheidungsfindung beschränkt sich diese Arbeit auf die Untersuchung von robusten effizienten Alternativen, die aus robusten multikriteriellen Optimierungsproblemen entstehen. Es soll das Modell dieser Forschungsrichtung genutzt werden, um damit Rückschlüsse auf reales Entscheidungsverhalten schließen zu können. Genauer gesagt, konzentriert die Arbeit sich auf die Charakterisierung und den Einfluss von machbaren Alternativen in Bezug auf multikriterielle Optimierungsprobleme, die eine endliche Menge möglicher Szenarien (d. h. Mengen plausibler Werte für die Parameter der einzelnen Zustände) enthalten. Auf diese Weise wird das Konzept der Robustheit als eine Fähigkeit betrachtet, sich vor bedauerlichen Auswirkungen aufgrund der Ungewissheit zu schützen. Für diese Arbeit sind folgende Aspekte nicht von Interesse: Es werden keine Wahrscheinlichkeitsurteile getroffen. Die Alternativen und ihre Szenarien werden unter Bezugnahme der Robustheit konstruiert, sodass diese Alternativen einem robusten multikriteriellen Effizienzkonzept entsprechen. Was diese Konstruktion impliziert, wird in Kapitel 4 diskutiert. Des Weiteren werden folgende Fragen ausgeklammert und sind nicht weiter von Interesse, wie z. B., wer die Menge der Szenarien aufbaut, was ein Szenario repräsentiert, was seine Verbindung zur Realität ist, usw. Für den interessierten Leser werden Ansätze und Empfehlungen angeboten, um diese Themen zu vertiefen. In Bezug auf die multikriterielle Optimierung werden explizit die Mengenbasierte minmax und maxmax robuste Effizienz, die in dieser Arbeit einerseits pessimistische und andererseits optimistisches Verhalten darstellen, untersucht. Daneben werden auch weitere Ansätze in dieser Arbeit betrachtet, die für weitere Forschungsbemühungen interessant sein können. Daher operationalisiert diese Arbeit diese Effizienzkonzepte, um in einem ersten Schritt die Entscheidungsdynamik von Entscheidungen unter Ungewissheit und bei mehreren Zielgrößen zu analysieren. So stellt sich hier die Frage, ob diese Effizienzkonzepte eher theoretische Konzepte darstellen oder bei dem tatsächlichen menschlichen⁷ Entscheidungsverhalten Anwendung finden. Dies soll mit Hilfe der experimentellen Ökonomik untersucht werden.

⁶ Vgl. Schöbel und Zhou-Kangas 2021, S. 782.

⁷ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten selbstverständlich gleichermaßen für alle Geschlechter.

Einleitung

Wie bereits kurz angerissen, hat sich die einschlägige Forschungsliteratur der experimentellen Ökonomik bisher darauf konzentriert, monokriterielle Besonderheiten in der Entscheidungsfindung zu untersuchen. Ein Literaturstrang der experimentellen Ökonomik zur multikriteriellen Entscheidungsfindung ist dem Autor zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit weder zu Risiko noch zur Unsicherheit im engeren Sinne bekannt. Deshalb können nach heutigem Wissensstand keine fundierten Aussagen zur Auswirkung von mehreren Zielgrößen auf das Entscheidungsverhalten, insbesondere zur Ungewissheit formuliert werden. Diese Forschungslücke hinsichtlich mehrerer Zielgrößen soll daher im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden.

Folgende Forschungsfragen sollen im Laufe der Arbeit konkret analysiert werden:

- Wie verhalten sich Entscheidungsträger bei mehreren Zielgrößen und Ungewissheit?
- Lassen sich Modelle des rationalen monokriteriellen Entscheidungsverhaltens auf eine multikriterielle Situation unter Unsicherheit übertragen?
- Entscheiden sich Probanden intuitiv kongruent mit multikriteriellen Effizienzkonzepten?
- Lassen sich erste Erkenntnisse in Bezug auf die Vorhersagegüte der multikriteriellen Effizienzkonzepte feststellen?
- Welche grundlegenden Einflussfaktoren lassen sich bei multikriteriellen Entscheidungen unter Ungewissheit identifizieren?
- Welche Erkenntnisse lassen sich für weitere multikriterielle ökonomische Experimente auf Basis einer anreizkompatiblen Gestaltung mit mehreren Zielgrößen auf Grundlage der hier vorgestellten Experimente gewinnen?

Um die hier aufgestellten Forschungsfragen zu beantworten, werden Erkenntnisse verschiedener Forschungsstränge zusammengeführt. Zur Betrachtung der Mehrziel-Problematik insbesondere unter Ungewissheit werden Konzepte der robusten multikriteriellen Optimierung genutzt. Diese Konzepte werden dann in Einklang mit der Methodik der experimentellen Ökonomik in ein Experiment überführt. Zur Erklärung möglicher Wirkzusammenhänge verwendet diese Arbeit dann bekannte und etablierte Modelle des rationalen monokriteriellen Entscheidungsverhaltens.

Neben dem möglichen Erkenntnisgewinn über multikriterielles Entscheidungsverhalten liefert diese Arbeit Hinweise, wie in Entscheidungssituationen bei mehreren Zielgrößen mit Ungewissheit bezüglich der zukünftigen Szenarien umgegangen wird. Das kann politische Lösungen oder ökonomische Fragestellungen betreffen. Darüber hinaus können die Ergebnisse dieser Arbeit dazu beitragen, Entscheidungsunterstützungssysteme zu verbessern.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im Anschluss an diese Einleitung werden die Grundlagen einer multikriteriellen Entscheidung dargestellt und die bisherigen Ansätze des multikriteriellen Entscheidens kategorisiert. Daraufhin wird der Begriff der Unsicherheit im Rahmen der multikriteriellen Entscheidung zuerst definiert und aufgrund seiner Mehrdeutigkeit eingeordnet. Diese Einordnung wird dann genutzt, um die bisherigen Modellierungsansätze hinsichtlich der Unsicherheit und mehrerer Zielgrößen kurz aufzuzeigen. Damit soll veranschaulicht werden, in welchem Bereich der Modellierung diese Arbeit einzuordnen ist.

Das dritte Kapitel befasst sich mit den etablierten und bekanntesten Modellen der ökonomischen Rationalität. Zum einen werden das Modell des Homo Oeconomicus zum anderen die Erwartungsnutzentheorie und dessen zugrundeliegenden Annahmen erläutert. Dann folgt eine Auswahl an Verzerrungen in Bezug auf die Rationalitätskonzepte, die wiederum z. B. zur Erstellung der Prospect-Theorie geführt haben. Diese Ansätze dienen dann später dazu, mögliche Effekte des multikriteriellen Entscheidungsverhaltens zu erklären oder sie zumindest in den Kontext der multikriteriellen Entscheidung zu setzen. Daraufhin wird die Methodik der experimentellen Ökonomik vorgestellt, um herauszustellen, welche Standards dort vorherrschen und wo eventuell Vor- und Nachteile dieses Werkzeuges liegen. Im Anschluss geht diese Arbeit in einem kurzen Exkurs auf die unterschiedliche Betrachtungsweise hinsichtlich der Anreizwirkung der Zielgrößen Zeit und Geld ein, da diese beiden Zielgrößen innerhalb des anreizkompatiblen Experiments operationalisiert werden.

Im darauffolgenden vierten Kapitel werden zu Beginn die Grundlagen der Effizienz und der Dominanz erläutert, um dann auf die grundlegenden Überlegungen des re-

Einleitung

lativ jungen Forschungsstrangs der robusten multikriteriellen Optimierung überzuleiten. Bevor die verschiedenen Effizienzkonzepte dieses Forschungsstranges vorgestellt werden, wird kurz auf einschlägige Literatur hingewiesen. Die Effizienzkonzepte werden dann anhand von Beispielen demonstriert.

Das fünfte Kapitel widmet sich der Fragestellung, wie das Entscheidungsverhalten bei Mehrziel-Problemen unter Ungewissheit zu interpretieren ist. Dafür werden zuerst die empirischen Versuche in Richtung der Ungewissheit und der Mehrziel-Problematik kurz ausgewiesen, um den Forschungsbedarf bezogen auf diese Richtung zu untermauern. Dann folgt die Beschreibung des Experimentdesigns sowie der abgeleiteten Hypothesen. Schließlich werden die Ergebnisse aus dem Experiment diskutiert. Die Ergebnisse werden dann genutzt, um auf mögliche Limitationen des experimentellen Designs, aber auch auf Möglichkeiten für weitere Forschung hinzuweisen.

Zum Schluss schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick ab.

2 Grundprobleme der Entscheidungen bei mehreren Zielgrößen insbesondere bei Ungewissheit

2.1 Grundlagen einer multikriteriellen Entscheidung

2.1.1 Basiselemente einer multikriteriellen Entscheidung

Hier werden die Basiselemente der multikriteriellen Entscheidung eingeführt. In Bezug auf die Entscheidungsträger werden in dieser Arbeit nur Entscheidungen von einzelnen Entscheidungsträgern berücksichtigt. Gruppenentscheidungen werden an dieser Stelle ausgeklammert. Der Fall der Gruppenentscheidungen bei Entscheidungen mit mehreren Zielgrößen wird zum Beispiel in Weber (1983) behandelt.⁸

Ein multikriterielles Entscheidungsproblem lässt sich durch das folgende Entscheidungsfeld beschreiben. Dabei stellt ein Entscheidungsfeld die Vereinfachung und zweckorientierte Abbildung der vorliegenden Entscheidungssituation dar. Ein solches Entscheidungsfeld besteht aus den Alternativen, Ergebnissen und dem Zustandsraum.⁹

Eine *Alternative*¹⁰ ist ein allgemeiner Begriff, der verwendet wird, um das zu bezeichnen, was den Gegenstand der Entscheidung darstellt oder auf das die Entscheidungshilfe gerichtet ist. Das heißt, die Alternativen sind die verschiedenen möglichen Lösungen oder Entscheidungsmöglichkeiten, die in dem Problem betrachtet werden. Alternativen oder auch Handlungsmöglichkeiten schließen sich gegenseitig aus, weil bei Betrachtung von mindestens zwei Alternativen nur eine gewählt werden kann. Die Menge aller zulässigen und möglichen Alternativen $x \in X$ wird mit der Form $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ beschrieben. Hierbei ist n die Anzahl der Alternativen.¹¹

⁸ Vgl. Zimmermann und Gutsche 1991, 21 ff.

⁹ Vgl. Laux et al. 2018, S. 32.

¹⁰ Der Begriff *Alternative* wird an dieser Stelle trotz seiner semantischen Logik aufgrund der Gebräuchlichkeit in dieser Forschungsrichtung verwendet. Eigentlich meint der Begriff *Alternative* die einzig bestehende andere Möglichkeit. Siehe Dudenredaktion 2021. Die semantische Logik schließt damit eigentlich „mehrere mögliche Handlungsalternativen“ aus. Genau in diesem Sinne wird der Begriff hier allerdings verwendet.

¹¹ Vgl. Laux et al. 2018, S. 32 f.

Grundprobleme der Entscheidungen bei mehreren Zielgrößen insbesondere bei Ungewissheit

Der *Zustandsraum* beschreibt die Erwartungen der möglichen Ausprägungen der entscheidungsrelevanten Daten. Diese Daten können vom Entscheider nicht beeinflusst werden und entziehen sich, mit Ausnahme bei Entscheidungen unter Sicherheit, seiner Kenntnis. Beispielsweise wären unterschiedliche zukünftige Erwartungen von Aktienkursen denkbar. Dabei ist es einem Entscheider in Bezug auf die Erwartungsstruktur häufig unbekannt, welche Daten bei Wahl einer Alternative auftreten werden. Eine mögliche zukünftige Entwicklung wird als Umweltzustand oder synonym Zustand bzw. Szenario¹² bezeichnet.¹³ Jeder Zustand ξ_s , $s = 1, \dots, m$, aus der Unsicherheitsmenge $U = \{\xi_1, \dots, \xi_m\}$ repräsentiert die relevanten Ausprägungen der Daten in dem jeweiligen Zustand. Hierbei ist m die Anzahl der Zustände. In Bezug auf den Zustandsraum werden im Entscheidungsmodell verschiedene Konstellationen der (subjektiven) Erwartungsstruktur betrachtet.

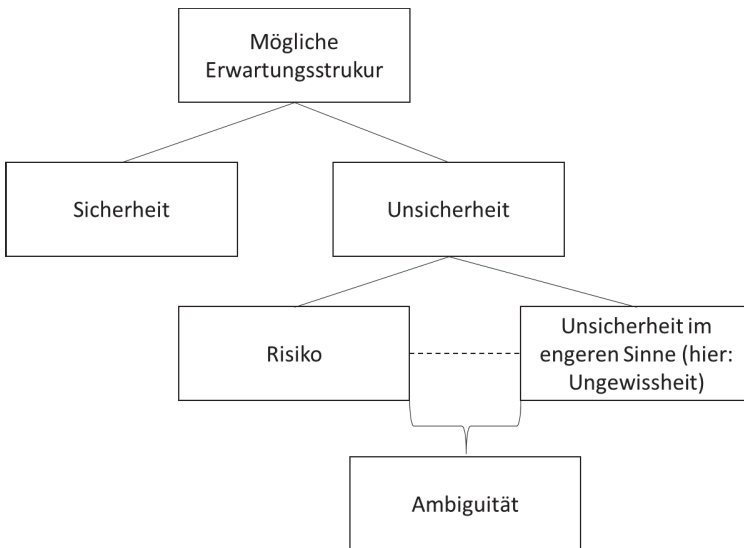


Abbildung 2-1: Erwartungsstruktur der Zustände
Quelle: Vgl. Laux et al. 2018, S. 33 mit eigener Erweiterung

Wie der Abbildung 2-1 zu entnehmen ist, unterscheidet man zwischen Sicherheit und Unsicherheit. Sicherheit bedeutet, dass der Entscheider den „echten“ Zustand

¹² In dieser Arbeit wird aufgrund der speziellen Thematik ebenfalls der Begriff Szenario für einen Zustand eingeführt. Der Begriff Szenario wird ebenfalls zum Beispiel von

¹³ Vgl. Laux et al. 2018, S. 34 f.

Grundprobleme der Entscheidungen bei mehreren Zielgrößen insbesondere bei Ungewissheit

kennt und damit alle Ergebnisse der Alternativen, die eintreten können, bereits bekannt sind. In einer Entscheidungssituation, in der Unsicherheit herrscht, unterscheidet man zwei Fälle. Wenn man sich im Bereich von Unsicherheit in einer Situation mit Risiko befindet, ist der Entscheider in der Lage den Zuständen Wahrscheinlichkeitsurteile zuzuordnen. Somit sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ergebnisse einer Alternative bekannt. Daraus lassen sich Urteile bzgl. Erwartungswerte und Varianzen ableiten. Der andere Fall wäre eine Situation bei Unsicherheit im engeren Sinne. In diesem Fall ist es dem Entscheider nicht möglich Aussagen über irgendwelche Wahrscheinlichkeitsurteile zu treffen. Es kann neben den Zuständen nur die Eigenschaft beschrieben werden, dass ein Zustand mit einer positiven Wahrscheinlichkeit eintreten kann.¹⁴ Diese Arbeit wird sich hauptsächlich mit der Situation der Unsicherheit im engeren Sinne beschäftigen, die in diesem Zusammenhang aus Vereinfachungsgründen als Ungewissheit¹⁵ beschrieben wird. Die Zwischenstufe der Erwartungsstruktur wird als Entscheidung unter Ambiguität erfasst. Ambiguität ist ein Begriff, der eine Entscheidungssituation mit fehlenden Informationen beschreibt. Dabei wäre der Extremfall der Ambiguität die Entscheidung unter Ungewissheit, also dem völligen Fehlen von Wahrscheinlichkeitsurteilen. Dementsprechend fallen unter diesen Begriff auch Abstufungen von fehlenden Informationen. So ist auch eine Situation denkbar, in der nur „schwammige“ Informationen oder Erfahrungswerte zu Wahrscheinlichkeitsurteilen vorliegen.¹⁶ Die Erwartungsstruktur der Unsicherheit einer multikriteriellen Entscheidungssituation wird insbesondere noch in Kapitel 2.1.1 vertieft.

Die *Ergebnisse* oder auch *Ausprägungen* sind nötig, um die Alternativen zu bewerten. Um die Bewertung von Alternativen vorzunehmen, muss ein Entscheider bestimmte Größen festlegen, die für ihn geeignet sind das Entscheidungsproblem zu bewerten. Diese Größen nennt man Zielgrößen oder synonym Kriterien. Im vorliegenden Fall werden mehrere Zielgrößen, wie z. B. Gewinn und Wartezeit, gleichzeitig betrachtet. Die Auswirkungen der Zielgrößen bringen bei Wahl einer Alter-

¹⁴ Vgl. bspw. Laux et al. 2018, 33 ff.

¹⁵ Ungewissheit wird häufig nicht eindeutig verwendet und in anderen wissenschaftlichen Arbeiten werden teilweise auch Situation unter Risiko mit Ungewissheit gleichgesetzt. Das ist in dieser Arbeit nicht der Fall. Hier ist mit Ungewissheit immer der Fall der Unsicherheit im engeren Sinne gemeint.

¹⁶ Vgl. Stocke 2002, S. 16 f. oder zur Charakterisierung von Entscheidungen unter Ambiguität siehe Yates und Zukowski 1976.

Grundprobleme der Entscheidungen bei mehreren Zielgrößen insbesondere bei Ungewissheit

native bestimmte Zusammenstellungen von Werten, die als Bewertungs- bzw. Vergleichsgrundlage dienen, mit sich.¹⁷ Diese Werte werden als Ergebnis bzw. Ausprägungen dargestellt. Jede Alternative $x \in X$ wird entsprechend für jede Zielgröße, $f_1(x), \dots, f_2(x), \dots, f_k(x)$, bewertet. Die Anzahl der Kriterien ist somit k . Die Bewertung $f_j(x)$ einer Alternative x in Bezug auf das j -te Ziel kann ein objektiver Bewertungsmaßstab sein oder ein subjektives Werturteil darstellen.¹⁸ Bei Betrachtung des unsicheren Falls werden Zielgrößen bzw. Kriterien mit $f_j(x_i, \xi_s)$ bezeichnet, $j=1, \dots, k$. Darin ist die Bewertung hinsichtlich des jeweiligen Zustands ξ_s enthalten. Demnach wird ein Ergebnis mit $f_j(x_i, \xi_s)$ bzgl. der Alternative x_i und des Kriteriums f_j sowie des Zustands ξ_s definiert.^{19, 20, 21}

Aufbauend auf den vorherigen Definitionen wird in dieser Arbeit folgende Notation für die Beschreibung von Alternativen verwendet. Unter Betrachtung der Erwartungsstruktur Ungewissheit wird eine Alternative durch Kombinationen der Ausprägungen bezüglich der Zustände und der Zielgrößen bestimmt. Bei Wahl einer Alternative x kann der Entscheider m Zustände erwarten, ohne dabei die Eintrittswahrscheinlichkeiten zu kennen. Bei Eintritt des Zustands s realisieren sich die Ausprägungen $(f_1(x_i, \xi_s), \dots, f_k(x_i, \xi_s))$ bei Wahl der Alternative i . Wobei $f_j(x_i, \xi_s)$ die Ausprägung der Zielgröße j in dem Zustand s der gewählten Alternative x_i darstellt. Die folgende Tabelle verdeutlicht die Ausprägungen einer Alternative x_i in der tabellarischen Form.

¹⁷ Vgl. Laux et al. 2018, S. 33 f.

¹⁸ Vgl. Ehrgott 2005, S. 2 f.

¹⁹ Vgl. Hwang und Yoon 1981, S. 8.

²⁰ Vgl. Laux et al. 2018, S. 32 ff. und Zimmermann und Gutsche 1991, S. 23 f.. Die formale Darstellung der Notationen beziehen sich auf Ehrgott 2005.

²¹ Siehe in Bezug zur Quantifizierung von Zielen Zimmermann und Gutsche 1991, S. 11 ff.