



TU Clausthal

# Entscheidungsverhalten bei mehreren Zielgrößen unter Ungewissheit

Experimentelle Evidenz am Beispiel von robusten multikriteriellen Effizienzkonzepten

Promotion an der Technischen Universität Clausthal

Christopher Specht



Cuvillier Verlag Göttingen



Entscheidungsverhalten unter Ungewissheit bei mehreren Zielgrößen  
–Experimentelle Evidenz am Beispiel von robusten multikriteriellen Effizienzkonzepten–





Entscheidungsverhalten unter Ungewissheit bei mehreren Zielgrößen  
–Experimentelle Evidenz am Beispiel von robusten multikriteriellen Effizienzkonzepten–

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Wirtschaftswissenschaften

vorgelegt von

Christopher Friedel Hermann Specht, M. Sc.

aus Anklam

genehmigt von der

Fakultät für Energie und Wirtschaftswissenschaft  
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung

24.02.2023



## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2023

Zugl.: (TU) Braunschweig, Univ., Diss., 2022

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2023

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2023

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7747-1

eISBN 978-3-7369-6747-2

Dissertation Technische Universität Clausthal, Deutschland 2023, D 104



## Danksagung

Die hier vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre und Betriebliche Umweltökonomie des Instituts für Wirtschaftswissenschaft der Technischen Universität Clausthal. Es ist eine Leistung, die ich nur dank der großzügigen Unterstützung und Hilfe vieler Menschen um mich herum hervorbringen konnte. An dieser Stelle möchte ich ihnen meine aufrichtige Dankbarkeit ausdrücken.

Zuallererst möchte ich meiner Doktormutter, Prof. Dr. Heike Schenk-Mathes, meinen tiefsten Dank aussprechen. Dank ihr bekam ich die Chance während meiner Zeit am Institut für Wirtschaftswissenschaft der TU Clausthal über meine Grenzen hinauszugehen und neue Horizonte zu erkunden. Ihre unermüdliche Unterstützung und Ihr Vertrauen haben mir geholfen, mein Potenzial zu entfalten. Auch Prof. Dr. Thomas Niemand, meinem Zweitgutachter, will ich danken. Mir wird stets seine lockere und hilfsbereite Art in Erinnerung bleiben.

Ein besonderer Dank gilt auch den Kollegen aus dem Institut für Wirtschaftswissenschaft und Freunden, insbesondere Christian Köster, Maximilian Reimer, Matthias Hoffmann, Silvia Imrich, Alexander Tillmanns, Philipp Balkwitz, Sonja Fetkenheuer, Ulf Krichel, Carolin Wabia, Nils Goeken, Jan Lenard Rother, Philipp Rimpp und Jacob Wehrle. Dank dem fachlichen Austausch, den privaten Gesprächen, den Kaffeerunden und den Aktivitäten nach Feierabend bin ich immer gerne zur Arbeit gekommen und hatte genug Ausdauer für meine Dissertation. Die Zusammenarbeit mit euch und eure Freundschaft haben mir in schwierigen Zeiten Halt gegeben und mich motiviert, weiterzumachen.

Mein Dank gilt auch meinen Eltern, ohne die ich wahrscheinlich nie nach Clausthal gekommen wäre und ohne deren Unterstützung die Fertigstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Darüber hinaus möchte ich mich bei meiner Schwester, meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Ihr habt mich auch in hektischen Zeiten wieder immer wieder unterstützt.

Zum Schluss will ich mich noch ganz besonders bei meiner Frau Janina bedanken, die immer für mich da war, mich häufig genug auf den Boden der Tatsachen zurückgeholt hat und mich immer unterstützt hat.



# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
Tabellenverzeichnis .....	X
Symbolverzeichnis .....	XIII
1 Einleitung .....	1
1.1 Problemstellung & Ziel der Arbeit .....	1
1.2 Aufbau der Arbeit .....	5
2 Grundprobleme der Entscheidungen bei mehreren Zielgrößen insbesondere bei Ungewissheit .....	7
2.1 Grundlagen einer multikriteriellen Entscheidung .....	7
2.1.1 Basiselemente einer multikriteriellen Entscheidung .....	7
2.1.2 Charakterisierung der Entscheidungssituation .....	12
2.1.3 Kategorisierung von multikriteriellen Entscheidungsproblemen .....	13
2.2 Unsicherheit im Kontext von multikriteriellen Entscheidungen .....	19
2.2.1 Grundbegriff Unsicherheit .....	19
2.2.2 Modellierung von Unsicherheit im Kontext von MCDM .....	21
2.2.2.1 Entscheidungsmodelle auf Grundlage von Wahrscheinlichkeiten	21
2.2.2.2 Entscheidungsmodelle auf Grundlage von Wahrscheinlichkeiten und Gewichtungsfunktionen .....	23
2.2.2.3 Entscheidungsmodelle auf Grundlage von Risikomessung .....	24
2.2.2.4 Entscheidungsmodelle auf Grundlage der Fuzzy-Set-Theorie .....	25
2.2.2.5 Entscheidungsmodelle auf Grundlage der Szenarioplanung .....	25
3 Erklärungsansätze für Entscheidungsverhalten .....	27
3.1 Homo Oeconomicus .....	27
3.2 Rationalität im Sinne des Homo Oeconomicus .....	30



3.3	Einschränkungen des rationalen Verhaltens – Nutzen der experimentellen Ökonomik .....	33
3.3.1	Ausgewählte Verzerrungen in Bezug auf rationales Verhalten.....	33
3.3.2	Alternativer Erklärungsansatz: Prospect-Theorie.....	46
3.3.3	Methodik der experimentellen Ökonomik.....	50
3.4	Anreizkompatibilität in der experimentellen Ökonomik .....	56
4	Effizienzkonzepte mit mehreren Zielgrößen unter Ungewissheit .....	60
4.1	Was ist Effizienz? .....	60
4.1.1	Zustandsdominanz und mehrere Zielgrößen .....	61
4.1.2	Stochastische Dominanz.....	62
4.2	Multikriterielle Optimierung .....	67
4.3	Robuste Konzepte der multikriteriellen Optimierung .....	72
4.3.1	Zustandsbedingte robuste Effizienzkonzepte – Schwach & Hoch robuste Effizienz.....	76
4.3.2	Zustandsunabhängige robuste Effizienzkonzepte – Minmax robuste Effizienz.....	79
4.3.2.1	Punktbasierte minmax robuste Effizienz.....	81
4.3.2.2	Mengenbasierte minmax robuste Effizienz .....	85
4.3.2.3	Hüllenbasierte minmax robuste Effizienz .....	89
4.3.3	Weitere Ansätze der zustandsunabhängigen robusten Effizienzkonzepte.....	91
4.3.3.1	Mengenbasierte maxmax robuste Effizienz .....	91
4.3.3.2	Mengenbasierte robuste Effizienz .....	94
4.3.3.3	Alternativmengenbasierte robuste Effizienz .....	96
4.3.3.4	Sichere robuste Effizienz.....	98
4.3.4	Leicht robuste Effizienz – Ein besonderes Konzept der robusten multikriteriellen Optimierung.....	100
5	Empirische Evidenz zum Entscheidungsverhalten bei multikriteriellen Effizienzkonzepten unter Ungewissheit.....	106



5.1	Konzeptionelle Grundlagen der Experimente .....	106
5.1.1	Forschungsbedarf und Motivation.....	106
5.1.2	Experimentdesign .....	109
5.1.2.1	Grundstruktur des Experiments.....	109
5.1.2.2	Treatment.....	111
5.1.2.3	Aufbau des Choice Sets.....	111
5.1.2.4	Abfrage der Zeitkosten .....	123
5.1.2.5	Aufbau der Fragebögen .....	126
5.2	Ablauf der Experimente.....	130
5.3	Hypothesen .....	132
5.4	Ergebnisse.....	140
5.4.1	Deskriptive Statistik .....	140
5.4.2	Einfluss des Framings innerhalb der Auswahl-situationen auf das Wahlverhalten.....	159
5.4.2.1	Methodisches Vorgehen .....	159
5.4.2.2	Multiple Regressionsanalyse – Verlusttreatment .....	164
5.4.2.3	Multiple Regressionsanalyse – Gewinn-treatment .....	169
5.4.3	Treatmenteffekte.....	174
5.4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	179
5.5	Diskussion der empirischen Ergebnisse .....	184
5.5.1	Einordnung der experimentellen Ergebnisse.....	184
5.5.2	Limitationen .....	190
5.5.3	Hinweise für weitere Forschung.....	193
6	Fazit .....	196
7	Literaturverzeichnis .....	200
	Anhangsverzeichnis.....	225



## Abkürzungsverzeichnis

ADP	Asian-Disease-Problem
AHP	Analytical Hierarchy Process
AME	Average marginal Effect
Bspw.	Beispielsweise
Bzgl.	Bezüglich
Ebd.	Ebenda
ELECTRE	ELimination Et Choice Translation Reality
Engl.	Englisch
EUT	Expected Utility Theory
FE	Fixed Effects
HO	Homo Oeconomicus
KPT	Kumulative Prospect-Theorie
M.	Mittelwert
MADM	Multi Attribute Decision Making
Maxef	Mengenbasiert minmax robust effizient
MCD A	Multi-Criteria Decision Aiding oder Multi-Criteria Decision Analysis
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
Minef	Mengenbasiert maxmax robust effizient
ML	Maximum Likelihood-Methode
MODM	Multi Objective Decision Making
o. J.	Ohne Jahr
o. O.	Ohne Ortsangabe
o. V.	Ohne Verfasser
OLS	Kleinste-Quadrate-Schätzung (Ordinary Least Squares)
OLS KS	Ordinary Least Square Regression mit korrigierten Standard- fehlern
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Eval- uations
PT	Prospect-Theorie



RE	Random Effects
SD.	Standard deviation; Standardabweichung
Stud.IP	Lernmanagement-System
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similiarity to Ideal Solution
TUC	Technische Universität Clausthal
Vgl.	Vergleiche
VIKOR	Vlse Kriterijumska Optimizacija kompromisno Resenje, deutsche Übersetzung: Multikriterielle optimierte Kompro- misslösung
Z. B.	Zum Beispiel



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Erwartungsstruktur der Zustände .....	8
Abbildung 3-1: Ellsberg Experiment – 2-Farben Version .....	37
Abbildung 3-2: Ellsberg ein Urnen Experiment.....	38
Abbildung 3-3-1: Hypothetische Wertfunktion und hypothetische Wahrscheinlichkeitsgewichtungsfunktion.....	49
Abbildung 4-1: Minimale & Maximale Elemente.....	69
Abbildung 4-2 Kontinuierliche Menge mit effizienten Punkt.....	70
Abbildung 4-3: Kontinuierliche Menge mit nicht-effizientem Punkt .....	70
Abbildung 4-4: diskrete Menge mit effizienten Punkt .....	70
Abbildung 4-5: Diskrete Menge mit ineffizientem Punkt .....	70
Abbildung 4-6: Beispiel Effizienzkonzepte .....	83
Abbildung 4-7: Beispiel Punkt basierte minmax robuste Effizienz .....	84
Abbildung 4-8: Beispiel Mengen basierte minmax robuste Effizienz .....	87
Abbildung 4-9: Beispiel Hüllen basierte minmax robuste Effizienz.....	90
Abbildung 4-10: Beispiel Mengen basierte maxmax robuste Effizienz.....	92
Abbildung 4-11: Beispiel Mengen basierte robuste Effizienz.....	95
Abbildung 4-12: Beispiel Alternativ mengen basierte robuste Effizienz.....	97
Abbildung 4-13: Beispiel Sichere robuste Effizienz.....	99
Abbildung 4-14: Beispiel Leicht robuste Effizienz – 1 .....	103
Abbildung 4-15: Beispiel Leicht robuste Effizienz – 2.....	104
Abbildung 5-1: Abfrage ID 1: Ausgangssituation.....	114
Abbildung 5-2: Auswahlssituation - Wechsel der Zustände Abfragen 2 & 3.....	117
Abbildung 5-3: Auswahlssituation – Einbau eines negativen Extremzustandes Abfragen 4 & 5 .....	118
Abbildung 5-4: Auswahlssituation – Einbau eines positiven Extremzustandes Abfragen 6 & 7 .....	118
Abbildung 5-5: Auswahlssituation – Einbau eines positiven & negativen Extremzustandes Abfragen 8 & 9.....	119
Abbildung 5-6: Auswahlssituation – Erhöhungen der Ausprägungen beider Zielgrößen Abfragen 10 & 11 .....	119
Abbildung 5-7: Auswahlssituation – Erhöhungen der Ausprägungen beider Zielgrößen und Einbau eines negativen Extremzustandes Abfragen 12 & 13 ....	120



Abbildung 5-8: Auswahlssituation – Erhöhungen der Ausprägungen beider Zielgrößen und Einbau eines positiven Extremzustandes Abfragen 14 & 15 .....	120
Abbildung 5-9: Auswahlssituation – Erhöhungen der Ausprägungen beider Zielgrößen und Einbau eines negativen & positiven Extremzustandes Abfragen 16 & 17 .....	121
Abbildung 5-10: Auswahlssituation: Rationalitätsüberprüfung Abfragen 18 & 19 .....	121
Abbildung 5-11: Argumentation BDM-Mechanismus aus Verkäufersicht.....	125
Abbildung 5-12: Verlusttreatment - Antwortfrequenz der Subgruppe Irrational	144
Abbildung 5-13: Individualverhalten Verlusttreatment .....	145
Abbildung 5-14: Verlusttreatment – Antwortfrequenz .....	146
Abbildung 5-15: Gewinntreatment - Antwortfrequenz der Subgruppe Irrational .....	151
Abbildung 5-16: Individualverhalten Gewinntreatment .....	152
Abbildung 5-17: Gewinntreatment – Antwortfrequenz .....	153
Abbildung 0-1: Instruktionen .....	242
Abbildung 0-2: Instruktionen (Gewinntreatment).....	243



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Zielerreichungsmatrix einer Alternative $x_i$ .....	11
Tabelle 2-2: Klassifikation von MADM Methoden .....	17
Tabelle 2-3: Klassifikation von MODM Methoden .....	18
Tabelle 4-1: Beispiel Zustandsdominanz bei mehreren Zielgrößen.....	62
Tabelle 4-2: Beispiel stochastische Dominanz bei mehreren Zielgrößen .....	64
Tabelle 4-3: Beispiel stochastische Dominanz Zielgröße Kosten – Darstellung der Wahrscheinlichkeitsstruktur .....	65
Tabelle 4-4: Beispiel stochastische Dominanz Zielgröße Wartezeit – Darstellung der Wahrscheinlichkeitsstruktur.....	65
Tabelle 4-5: Beispiel schwach & hoch robuste Effizienz.....	78
Tabelle 4-6: Beispiel schwach & hoch robuste Effizienz: Szenario 1 .....	79
Tabelle 5-1: Abfrage ID 1: Ausgangssituation.....	113
Tabelle 5-2: Abfrage ID 2 & 3: Verwechslung der Zustände .....	115
Tabelle 5-3: Experimentaufbau: Typen von Abfragen.....	116
Tabelle 5-4: Experimentaufbau - Fragen zum Entscheidungsverhalten.....	127
Tabelle 5-5: Verlusttreatment Auswahlhäufigkeiten Binomialtest .....	146
Tabelle 5-6: Gewinnreatment Auswahlhäufigkeiten Binomialtest .....	154
Tabelle 5-7: Logistische Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern $\neg$ Verlusttreatment .....	166
Tabelle 5-8: Logistische Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern $\neg$ Gewinnreatment.....	169
Tabelle 5-9: Regressionsanalyse der Zeitkosten – Gewinnreatment.....	173
Tabelle 5-10: Logistische Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern $\neg$ Treatmentvergleich .....	174
Tabelle 5-11: Regressionsanalyse der Zeitkosten $\neg$ Gesamtbetrachtung .....	178
Tabelle 5-12: Überblick - Resultate aus den Binomialtests .....	181
Tabelle 5-13: Überblick - Resultate aus den Regressionen.....	182
Tabelle 0-1: Abfrage ID 4 & 5: Negativer Extrempunkt.....	226
Tabelle 0-2: Abfrage ID 6 & 7: Positiver Extrempunkt .....	226
Tabelle 0-3: Abfrage ID 8 & 9: Negativer & positiver Extrempunkt .....	227
Tabelle 0-4: Abfrage ID 10 & 11: Erhöhung Volumina .....	227



Tabelle 0-5: Abfrage ID 12 & 13: Erhöhung Volumina & negativer Extrempunkt .....	228
Tabelle 0-6: Abfrage ID 14 & 15: Erhöhung Volumina & positiver Extrempunkt .....	228
Tabelle 0-7: Abfrage ID 16 & 17: Erhöhung Volumina & negativer + posiiver Extrempunkt .....	229
Tabelle 0-8: Abfrage ID 18 & 19: Verständnisfragen.....	229
Tabelle 0-9: Gewinnreatment Abfrage ID 1 & 2.....	230
Tabelle 0-10: Gewinnreatment Abfrage ID 3 & 4.....	230
Tabelle 0-11: Gewinnreatment Abfrage ID 5 & 6.....	231
Tabelle 0-12: Gewinnreatment Abfrage ID 7 & 8.....	231
Tabelle 0-13: Gewinnreatment Abfrage ID 9 & 10.....	232
Tabelle 0-14: Gewinnreatment Abfrage ID 11 & 12.....	232
Tabelle 0-15: Gewinnreatment Abfrage ID 13 & 14.....	233
Tabelle 0-16: Gewinnreatment Abfrage ID 15 & 16.....	233
Tabelle 0-17: Gewinnreatment Abfrage ID 17 & 18.....	234
Tabelle 0-18: Gewinnreatment Abfrage ID 19.....	234
Tabelle 0-19: Aufbau, Mittelwerte und Standardabweichung des 21 Items Fragebogen zum Fünf-Faktoren-Modell .....	245
Tabelle 0-20: Interne Konsistenz des Fragebogens: Itemanzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Cronbach's $\alpha$ und McDonald's $\omega$ der fünf Dimensionen des Fünf-Faktoren-Modells.....	246
Tabelle 0-21: Faktorladung zum Fragebogen des Fünf-Faktoren-Modells für das Verlust- und das Gewinnreatment.....	247
Tabelle 0-22: Lineare Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern $\sim$ Verlustreatment .....	250
Tabelle 0-23: Verlustreatment – Logistische Regression inklusive AMEs.....	251
Tabelle 0-24: Logistische Regressionsmodelle als Random-Effects Modell $\sim$ Verlustreatment .....	253
Tabelle 0-25: Lineare Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern $\sim$ Gewinnreatment.....	254
Tabelle 0-26: Gewinnreatment – Logistische Regression inklusive AMEs.....	255
Tabelle 0-27: Logistische Regressionsmodelle als Random-Effects Modell $\sim$ Gewinnreatment .....	257



Tabelle 0-28: Lineare Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern – Treatmentvergleich .....	258
Tabelle 0-29: Gesamtbetrachtung – Logistische Regression inklusive AMEs ...	259
Tabelle 0-30: Logistische Regressionsmodelle als Random-Effects Modell – Treatmentvergleich .....	261
Tabelle 0-31: Regressionsanalyse der Zeitkosten – Gewinn-treatment mit Outlier .....	262
Tabelle 0-32: Regressionsanalyse der Zeitkosten – Verlust-treatment mit Outlier .....	264
Tabelle 0-33: Regressionsanalyse der Zeitkosten – Verlust-treatment ohne Outlier .....	265
Tabelle 0-34: Regressionsanalyse der Zeitkosten – Treatmentvergleich mit Outlier .....	265
Tabelle 0-35: Logistische Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern – Treatmentvergleich Subgruppe Wartezeit erfüllt .....	266
Tabelle 0-36: Logistische Regressionsmodelle mit geclusterten robusten Standardfehlern – Treatmentvergleich Subgruppe Wartezeit erfüllt + Frauen .....	267



## Symbolverzeichnis

Symbol	Beschreibung
$\varepsilon$	Errorterm
$\xi$	Nominales Szenario
$\pi(\cdot)$	Wahrscheinlichkeitsgewichtungsfunktion
$\phi^{PT}(\cdot)$	Nutzenwert der Prospect-Theorie Funktion
$\phi^{Risk}(\cdot)$	Nutzenwert der Risikofunktion
$\mathbb{R}_{\leq}^k$	$\{x \in \mathbb{R}^k: x \leq 0\}$ : Ordnungskegel/ Orthant
$\mathbb{R}_{\geq}^k$	$\{x \in \mathbb{R}^k: x \geq 0\}$ : Ordnungskegel/ Orthant
$\mathbb{R}_{>}^k$	$\{x \in \mathbb{R}^k: x > 0\}$ : Ordnungskegel/ Orthant
AIC	Informationskriterium von Akaike
BIC	Bayesianisches Informationskriterium
$conv(\cdot)$	Bildung einer konvexen Hülle
$E_j$	Menge der möglichen Ergebnisse bei Zielgröße $f_j$ (Nur für Stochastische Dominanz)
$E(\cdot)$	Erwartungswert
$EU(\cdot)$	Erwartungsnutzenwert
$f_j$	Kriterium
$f_j(x_i, \xi_s)$	Ausprägungen der Alternative $x_i$ in Bezug auf die Zielgröße $f_j$ bei Zustand $\xi_s$
$f_U(x_i)$	Ergebnismenge aller Kriterien der Alternative $i$
$f_U^{\max}(x_i)$	Vektor des komponentenweise schlechtmöglich- sten Falls einer Alternative (bei Minimierung)
$f_U^{\min}(x_i)$	Vektor des komponentenweise bestmöglichen Falls einer Alternative (Bei Minimierung)
$g$	Gebot (Kapitel 5.1.2.4)
$i, j$	Laufvariable/ -index
$k$	Anzahl möglicher Kriterien
$k$	Kompensationsbereitschaft (Kapitel 5.1.2.4)
$ll$	Log-Likelihood



$p$	Kompensationspreis (Kapitel 5.1.2.4)
$p_s, P$	Eintrittswahrscheinlichkeit eines Zustands
Pseudo- $R^2$	Maß für den Erklärungsgehalt (hier nach McFadden) einer logistischen Regression
$P(.)$	Optimierungsproblem
$R_{ij}$	Risiko bei Alternative $i$ und Zielgröße $f_j$ bei dem spezifischen Risiko
$\rho$	Erklärungsgehalt der Varianz der Gruppe (RE-Modell im Anhang)
$s, t$	Laufvariable/ index
$U$	Menge der Zustände
$U(.)$	Nutzenfunktion einer Alternative
$u_j(.)$	Nutzenfunktion der Zielgröße
$V_{ij}$	Positiver Wert bei Alternative $i$ und Zielgröße $j$
$Var(.)$	Varianz
$W_i(e_j)$	Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis $e_j$ bei Wahl von $x_i$ überschritten wird (Nur für Stochastische Dominanz)
$w_j$	Gewicht der Zielgröße $f_j$
$w_j^r$	Gewichtung des Risikos bei Zielgröße $f_j$ bzgl. des spezifischen Risiko
$X_e$	Menge der effizienten Alternativen
$X$	Mögliche Menge der Alternativen
$x_i$	Alternative, Vektor der Alternativen





# 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.<sup>1</sup> 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 Wahrscheinlichkeitsverteilungen<sup>2</sup> bewegen, sodass er trotz der unvollständigen Informationen eine mögliche Menge an optimalen Alternativen finden kann.<sup>3</sup> 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.<sup>4</sup> 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.<sup>5</sup> 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

---

<sup>1</sup> Vgl. Asimit und Boonen 2018, S. 28.

<sup>2</sup> Hier ist ebenfalls eine Menge an verschiedenen zulässigen Nutzenfunktionen denkbar.

<sup>3</sup> Vgl. Eisenführ und Weber 1999, S. 258 ff.

<sup>4</sup> Vgl. Schneeweiß 1992, S. 157.

<sup>5</sup> Vgl. Shavazipour et al. 2021, S. 105.



sind.<sup>6</sup> 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 menschlichen<sup>7</sup> Entscheidungsverhalten Anwendung finden. Dies soll mit Hilfe der experimentellen Ökonomik untersucht werden.

---

<sup>6</sup> Vgl. Schöbel und Zhou-Kangas 2021, S. 782.

<sup>7</sup> 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.



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.<sup>8</sup>

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.<sup>9</sup>

Eine *Alternative*<sup>10</sup> 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.<sup>11</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. Zimmermann und Gutsche 1991, 21 ff.

<sup>9</sup> Vgl. Laux et al. 2018, S. 32.

<sup>10</sup> 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.

<sup>11</sup> 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. Szenario<sup>12</sup> bezeichnet.<sup>13</sup> Jeder Zustand  $\xi_s$ ,  $s = 1, \dots, m$ , 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.

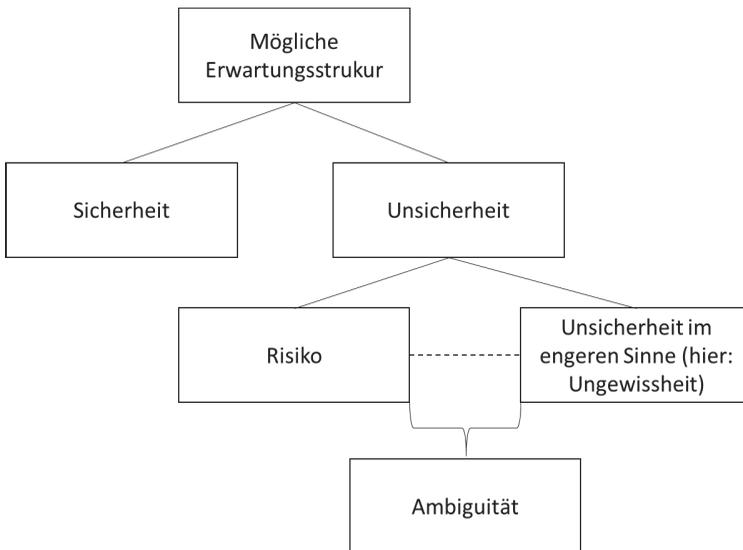


Abbildung 2-1: Erwartungsstruktur der Zustände  
Quelle: Vgl. Laux et al. 2018, S. 33 mit eigener Erweiterung

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

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

<sup>13</sup> 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.<sup>14</sup> Diese Arbeit wird sich hauptsächlich mit der Situation der Unsicherheit im engeren Sinne beschäftigen, die in diesem Zusammenhang aus Vereinfachungsgründen als Ungewissheit<sup>15</sup> 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.<sup>16</sup> 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-

---

<sup>14</sup> Vgl. bspw. Laux et al. 2018, 33 ff.

<sup>15</sup> 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.

<sup>16</sup> 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.<sup>17</sup> 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.<sup>18</sup> 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  $\xi_s$  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  $\xi_s$  definiert.<sup>19, 20, 21</sup>

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.

---

<sup>17</sup> Vgl. Laux et al. 2018, S. 33 f.

<sup>18</sup> Vgl. Ehrgott 2005, S. 2 f.

<sup>19</sup> Vgl. Hwang und Yoon 1981, S. 8.

<sup>20</sup> 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.

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