

1. EINLEITUNG UND GRUNDLAGEN

1.1. Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	1
1.2. Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge	2
1.3. Vorgehensweisen zur Entscheidungsfindung mit Modellbildung ..	29
1.4. Der analytische Hierarchie-Prozeß von Saaty	33
1.5. Verfahren zur Bewertungsdurchführung in einer Hierarchie ..	37
1.6. Prozeßorganisation zur Problemlösung	46

2. VORGEHENSWEISE ZUR AUFSTELLUNG UND AUSWAHL VON MODELLIERUNGS- ALTERNATIVEN BEI RESSOURCENBESCHRÄNKUNGEN (RMV)

2.1. Überblick über die Vorgehensweise	54
2.2. Hierarchischer Zusammenhang zwischen Modellierungs- alternativen und Beurteilungskriterien	56
2.3. Beschreibung der Vorgehensweise im einzelnen	58
2.4. Vergleich mit anderen Vorgehensweisen	94
2.5. Qualität von Entscheidungsmodellen	102
2.6. Voraussetzungen zur Anwendung der RMV	105

3. VERFAHREN ZUR ENTSCHEIDUNGSFINDUNG BEI KARDINALEN BEWERTUNGEN UND ADDITIVER AGGREGATION

3.1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung	107
3.2. Genereller Lösungsansatz und allgemeine Vorgehensweise	107
3.3. Erweiterte additive Gewichtung (EAG)	109
3.4. Outranking-Verfahren	121
3.5. EAG und Outranking bei additiver Gewichtung (OAG)	138
3.6. Darstellungsweise für Verfahren - zur Unterstützung der RMV	175

4. ANWENDUNGSBEISPIEL : MANNSCHAFTSAUFSTELLUNG IM SCHWIMMSPORT ALS PERSONALEINSATZPROBLEM

4.1. Situationsbeschreibung und flankierende Lösungsansätze	180
4.2. Modellbildung und Verfahrensanwendung für das Reihenfolgeproblem	198

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

6. LITERATURANGABEN

ANHANG

A. Algorithmen und numerische Ergebnisse	233
B. Operationen mit unscharfen Zahlen	241
C. Beispiele für die Darstellung von Outranking-Verfahren mit Hilfe von linguistischen Variablen	244

2. VORGEHENSWEISE ZUR AUFSTELLUNG UND AUSWAHL VON MODELLIERUNGSALTERNATIVEN BEI RESSOURCENBESCHRÄNKUNGEN (RMV)	
2.1. Überblick über die Vorgehensweise	54
2.2. Hierarchischer Zusammenhang zwischen Modellierungsalternativen und Beurteilungskriterien	56
2.3. Beschreibung der Vorgehensweise im einzelnen	58
2.3.1. Darstellung und Beurteilung von Entscheidungssituationen	58
2.3.1.1. Aufstellung von Ziel- und Alternativenstrukturen	58
2.3.1.2. Beurteilung von Ziel- und Alternativenstrukturen	62
2.3.1.3. Aufgabenstellungen	65
2.3.1.4. Ressourcenbeschränkungen	66
2.3.2. Darstellung und Beurteilung von Bewertungsweisen	66
2.3.2.1. Charakterisierung von Bewertungsweisen	67
2.3.2.2. Beurteilung von Bewertungsweisen	73
2.3.2.3. Beurteilung von Gewichtungsweisen	77
2.3.3. Analyse und Beurteilung von Anwendungsmöglichkeiten für Verfahrensalternativen	77
2.3.3.1. Übersicht über Verfahrensalternativen	77
2.3.3.2. Analyserahmen für allgemeingültige Eignungsbeurteilungen	79
2.3.3.3. Analyserahmen zur Eignungsbeurteilung spezieller Anwendungssituationen	81
2.3.3.4. Hierarchische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Bewertungskriterien und Modellierungsteilbereichen	86
2.3.3.5. Beurteilung der Zielhierarchie in drei Schritten	89
2.3.3.6. Vorkopplung durch empirische Validierung	90
2.3.4. Auswahl von Modellierungsalternativen; Entscheidungsvalidierung	90
2.3.4.1. Auswahl von Modellierungen und Verfahren; Feststellung von Anwendungsreihenfolge und Bewertungsbedarf	90
2.3.4.2. Entscheidungsvalidierung im äußeren Entscheidungsmodell	91
2.3.5. Erfassung der benötigten Bewertungen	91
2.3.6. Anwendung der ausgewählten Verfahren	91
2.3.7. Entscheidungsfällung	91
2.3.8. Validierungen durch Vor- und Rückkopplungen	91
2.4. Vergleich mit anderen Vorgehensweisen	94
2.4.1. Vergleich mit vier Vorgehensweisen	94
2.4.2. Vergleich mit der Vorgehensweise von Schneeweiß	95
2.4.2.1. Vergleich von Voraussetzungen	95
2.4.2.2. Vergleich von Vorgehensschritten	95
2.4.2.3. Vergleich von Ressourceneinsatz, Struktur und Detailbehandlung	98
2.4.2.4. Vergleich von prozeßorganisatorischen Darstellungen	99
2.4.2.5. Zusammenfassende Vergleichsaussagen	101
2.4.3. Vergleich mit der Zusammenhangsdarstellung von Zimmermann ..	101

2.5. Qualität von Entscheidungsmodellen	102
2.5.1. Gütebeurteilung für Entscheidungsmodelle	102
2.5.2. Erfüllung von Modellbildungsanforderungen	103
2.5.3. Prozeß- und planungsorientierte Qualitätskontrolle	105
2.6. Voraussetzungen zur Anwendung der RMV	105
2.6.1. Formulierbarkeit und Validierbarkeit von Alternativen	105
2.6.2. Vorbereitungsschritt zur Auswahl des Modellbildungsprozesses	106

3. VERFAHREN ZUR ENTSCHEIDUNGSFINDUNG BEI KARDINALEN BEWERTUNGEN UND ADDITIVER AGGREGATION

3.1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung	107
3.2. Genereller Lösungsansatz und allgemeine Vorgehensweise	107
3.3. Erweiterte additive Gewichtung (EAG)	109
3.3.1. EAG mit scharfen Bewertungen und scharfen Gewichten	109
3.3.1.1. Aufstellungshinweise für geeignete linguistische Variable	110
3.3.1.2. Modellierung von Unschärfe	113
3.3.2. EAG mit unscharfen Bewertungen und unscharfen Gewichten	113
3.3.2.1. Verfahrensbeschreibung	113
3.3.2.2. Bemerkungen zur Modellierung von Unschärfe	116
3.3.3. EAG mit scharfen und unscharfen Bewertungen und Gewichten ..	117
3.3.4. EAG : weitere Eigenschaften und Einschränkungen	117
3.4. Outranking-Verfahren	121
3.4.1. Allgemeine Darstellung	121
3.4.1.1. Herkunft und Zielrichtung	122
3.4.1.2. Beschreibung von Grundelementen	123
3.4.1.3. Darstellung mittels linguistischer Variabler	125
3.4.2. Outranking mit scharfen Bewertungen und scharfen Gewichten ..	125
3.4.3. Outranking mit unscharfen Bewertungen und unscharfen Gewichten	129
3.4.4. Outranking mit scharfen und unscharfen Bewertungen und Gewichten	129
3.4.5. Outranking: weitere Eigenschaften und Einschränkungen	131
3.4.6. Outranking bei additiver Gewichtung	133
3.4.6.1. Vergleich von Alternativen: zielweise und gesamt	134
3.4.6.2. Zuweisung von Alternativen auf Klassen	136

3.5. EAG und Outranking bei additiver Gewichtung (OAG)	138
3.5.1. Verfahrensbeschreibungen	138
3.5.1.1. OAG mit gemeinsamer Unschärfebewertung	139
3.5.1.2. EAG mit individueller Unschärfebewertung	140
3.5.1.3. OAG mit individueller Unschärfebewertung	141
3.5.2. Vergleich der Verfahrensweisen	142
3.5.3. Vergleich der Aggregationsphasen von EAG und OAG mit individueller Unschärfebewertung : Unschärfe, Trennschärfe und Ressourceneinsatz	144
3.5.3.1. Unschärfe bei EAG und OAG	147
3.5.3.2. Proportionalität zwischen Unschärfebereich und Indifferenzbereich	153
3.5.3.3. Vergleich der Trennschärfe von EAG und OAG	157
3.5.3.4. Vergleich der Rechenzeiten für EAG und OAG	158
3.5.3.5. Abschätzung der Rechenzeiten für EAG und OAG	159
3.5.3.6. Abschätzung des Speicherbedarfs für EAG und OAG	160
3.5.3.7. Zusammenfassung der Vergleichsaussagen	161
3.5.4. Vergleich der Aggregations- und Klassenbildungsphasen für die drei Verfahrensweisen	162
3.5.4.1. Vergleich : Trennschärfe bei Varianten gemeinsamer Unschärfebewertung	162
3.5.4.2. Vergleich : Trennschärfe bei gemeinsamen und individuellen Unschärfefunktionen	167
3.5.4.3. Ressourcenvergleich : Rechenzeit	168
3.5.4.4. Ressourcenvergleich : Speicherbedarf	169
3.5.4.5. Zusammenfassung der Vergleichsaussagen	170
3.5.5. Entscheidungsunterstützung für die Verfahrensauswahl	171
3.5.5.1. Analyse 1: Mächtigkeitsreduktion durch OAG _g ?	171
3.5.5.2. Analyse 2: Gemeinsame oder individuelle Unschärfe ? ...	172
3.5.5.3. Analyse 3: Bei individueller Unschärfe - EAG oder OAG ?	172
3.5.5.4. Vorschlag zur Einsatzreihenfolge und Anwendungsbeispiel	173
3.6. Darstellungsweise für Verfahren - zur Unterstützung der RMV	175
3.6.1. Verfahrensdarstellung durch Folgen von Bewertungsschritten ..	175
3.6.2. Unterstützung der RMV durch das Darstellungsschema	178

4. ANWENDUNGSBEISPIEL : MANNSCHAFTSAUFPSTELLUNG IM SCHWIMMSPORT ALS PERSONALEINSATZPROBLEM

4.1. Situationsbeschreibung und flankierende Lösungsansätze	180
4.1.1. Einleitung und Zielsetzung	180
4.1.2. Beschreibung im Überblick	180
4.1.3. Entscheidungsfindung in der derzeitigen Praxis und der Bedarf für Entscheidungsunterstützung	182
4.1.4. Spezielle Anwendungsbedingungen	182

ANHANG

A. Algorithmen und numerische Ergebnisse	233
A.1. BASIC-Programme für EAG_i und OAG_i : Aggregationsphase	233
A.2. Beispiele für Rechenzeiten bei EAG_i und OAG_i	234
A.3. BASIC-Programme für OAG_g , EAG_i und OAG_i : Aggregations- und Klassenbildungphase	235
A.3.1. BASIC-Programm für OAG_g	235
A.3.2. BASIC-Programm für EAG_g	236
A.3.3. BASIC-Programm für OAG_i	237
A.4. BASIC-Programme für Analysen zu Einsatzentscheidungen hinsichtlich OAG_g , EAG_i und OAG_i	238
A.4.1. BASIC-Programm für Analyse 1	238
A.4.2. BASIC-Programm für Analyse 2	239
A.4.3. BASIC-Programm für Analyse 3	240
B. Operationen mit unscharfen Zahlen	241
B.1. Erweiterte Addition	241
B.2. Erweiterte Subtraktion	241
B.3. Erweiterte Multiplikation	242
C. Beispiele für die Darstellung von Outranking-Verfahren mit Hilfe von linguistischen Variablen	244
C.1. ELECTRE	244
C.2. PROMETHEE	246
C.3. Outranking : mit expliziten zielweisen Präferenzregeln	
i. Bei scharfen Bewertungen	247
ii. Bei unscharfen Bewertungen	247
C.4. Outranking bei additiver Gewichtung	250

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND BEISPIELE

1. EINLEITUNG UND GRUNDLAGEN

Seite

Abb. 1.1. : Das Auswahlmodell; das Prozeßmodell	5
Abb. 1.2. : Einfacher Regelkreis	7
Abb. 1.3. : Regelkreis mit Vorkopplung	8
Abb. 1.4. : Katalog von Entscheidungstypen	9
Abb. 1.5. : Gesamtstruktur einer Entscheidung	11
Abb. 1.6a.: Unscharfe Dreieckszahl N	13
Abb. 1.6b.: Die linguistische Variable "Alter"	14
Abb. 1.7. : Darstellung von Problemstrukturen (Beispiele)	24
Abb. 1.8. : Schema zum Aufbau von Modellen	28
Abb. 1.9. : Zusammenhänge zwischen Problemen, Modellen und Algorithmen ..	32
Abb. 1.10.: Einfache Hierarchie mit zwei Alternativen	41
Abb. 1.11.: Darstellung der vorhandenen Bewertungsinformationen für ein Alternativenpaar (x,y)	43
Abb. 1.12.: Hierarchie für Alternativen mit zwei Eigenschaften	44
Abb. 1.13.: Problemlösung durch Prozesse im Regelkreis	47
Abb. 1.14.: Skizze eines Zusammenhangs zwischen hierarchisch Struktur und Problemregelkreis	48
Abb. 1.15.: Das innere Entscheidungsmodell in der Prozeßstruktur	50
Abb. 1.16.: Das "äußere" Entscheidungsmodell in der Prozeßstruktur	51
Abb. 1.17.: Das umfassende Entscheidungsmodell	52
Abb. 1.18.: Drei Entscheidungsmodelle als Prozeßmodelle	53

2. VORGEHENSWEISE ZUR AUSWAHL VON MODELLIERUNGS- ALTERNATIVEN BEI RESSOURCENBESCHRÄNKUNGEN

Abb. 2.1. : Modellbildung und -auswahl als Entscheidungsprozeß	54
Abb. 2.2. : Hierarchie für das äußere Entscheidungsmodell des RM-Prozesses	57
Abb. 2.3. : Hierarchie mit drei Bewertungskriterien, vier Attributen und n Alternativen	60
Abb. 2.4. : Zwei Modellierungsweisen der Zielhierarchie	60
Abb. 2.5. : Zwei Modellierungsweisen von Alternativen	61
Abb. 2.6a.: Beurteilung der Modellierungsgüte je Teilbereich der Ziel- und Alternativenstruktur	63
Abb. 2.6b.: Beurteilung der Modellierungsgüte für Ziel- und Alternativenstrukturen	64
Abb. 2.7. : Hierarchie von Skalenniveaus	64
Abb. 2.8. : Zwölf Bewertungsweisen	70
Abb. 2.9. : Beurteilung von Bewertungsweisen - je Ziel eines inneren Entscheidungsmodells	71
Abb. 2.10.: Beurteilung von Bewertungsweisen - je Entscheidungsmodell ..	75
Abb. 2.11.: Beurteilung von Gewichtungsweisen	76
Abb. 2.12.: Allgemeingültige Beurteilungen von Verfahren	77
Abb. 2.13.: Beurteilung : Modellierungsgüte	81
Abb. 2.14.: Beurteilung : Erfüllung der Aufgabenstellung	82
Abb. 2.15.: Beurteilung : Einhaltung der Ressourcenbeschränkungen	83
Abb. 2.16.: Beurteilung : Eignung des anzuwendenden Verfahrens	83
Abb. 2.17.: Detaillierte Beurteilungsübersicht für eine Modellierungs- alternative	84
Abb. 2.18.: Zusammenfassende Beurteilungsübersicht über alle Modellierungsalternativen	85
Abb. 2.19.: Hierarchische Darstellung : Beurteilungskriterien und Modellierungsteilbereiche (a) - (f)	86
Abb. 2.20.: Vorgehensweise zur Beurteilung	89

Abb. 2.21.: Prozeßorganisatorische Darstellung der RMV	92
Abb. 2.22.: Vorgehensweise von Schneeweiß und RM-Vorgehensweise als Prozeßmodell	96
Abb. 2.23.: Vergleich der VvS und RMV	97
Abb. 2.24.: Prozeßorganisatorische Darstellung der VvS	100

3. VERFAHREN ZUR ENTSCHEIDUNGSFINDUNG BEI KARDINALEN BEWERTUNGEN UND ADDITIVER AGGREGATION

Abb. 3.1. : Schematische Darstellung von EAG und Outranking	108
Abb. 3.2. : Diskriminierungsfähigkeit des EAG-Verfahrens in Abhängigkeit von der Gewichtungsschärfe	119
Abb. 3.3. : Schematische Darstellung von Outranking-Verfahren	126
Abb. 3.4. : Schematischer Vergleich der Verfahrensabläufe	130
Abb. 3.5. : Übersichtschema : Verfahrensschritte	143
Abb. 3.6. : Indifferenzbereich für ein Paar von Zugehörigkeitsfunktionen	146
Abb. 3.7. : Relativer Unterschied Δ zw. Unschärfebereichen für EAG u.OAG	152
Abb. 3.8. : Fallunterscheid. zur Berechnung des Indifferenzbereichs (1)	155
Abb. 3.9. : Fallunterscheid. zur Berechnung des Indifferenzbereichs (2)	155
Abb. 3.10.: Größenberechnung eines Indifferenzintervall	156
Abb. 3.11.: Rechenzeit für EAG (in Sekunden) - Durchschnitt für 10 Testf.	158
Abb. 3.12.: Rechenzeit für OAG (in Sekunden) - Durchschnitt für 10 Testf.	158
Abb. 3.13.: Vergleichsquotient $Q = r(EAG)/r(OAG)$	158
Abb. 3.14.: Bereiche für gemeinsame Unschärfebewertungen	163
Abb. 3.15.: Flächenanteile der Differenz-Zugehörigkeitsfunktion	165
Abb. 3.16.: Klassifizierungsfehler, Indifferenzbereich und Trennschärfe bei gemeinsamer Unschärfebewertung	166
Abb. 3.17.: Ressourcenvergleich : Rechenzeitbedarf (in Sekunden)	168
Abb. 3.18.: Übersicht zur Verfahrensauswahl	174
Abb. 3.19.: Darstellungsschema für Bewertungsschritte	176
Abb. 3.20.: Zusammenfassung zu vier linguistischen Variablen	176
Abb. 3.21.: Bewertungsschritte für das EAG-Verfahren	177
Abb. 3.22.: Bewertungsschritte für Outranking-Verfahren wie ELECTRE und PROMETHEE	177
Abb. 3.23.: Bewertungsschritte für das OAG-Verfahren	178

4. ANWENDUNGSBEISPIEL : MANNSCHAFTSAUFPSTELLUNG IM SCHWIMMSPORT ALS PERSONALEINSATZPROBLEM

Abb. 4.1. : Graph zur Lösung des scharfen Zuordnungsproblems	184
Abb. 4.2. : Zugehörigkeitsfunktion für Wettkampfpunkte (Beispiel)	185
Abb. 4.3. : Übergeordnete Bewertungskriterien mit Fokus	199
Abb. 4.4. : Hierarchie mit Bewertungskriterien und Alternativen	200
Abb. 4.5. : Hierarchie für Modellierungsweise "Leistungspunktbewertung" ..	201
Abb. 4.6. : Hierarchie für Modellierungsweise "Akzeptanzbewertung" ..	201
Abb. 4.7. : Beurteilung der Modellierungsgüte für Bewertungskriterien, Ziele und Alternativen	203
Abb. 4.8. : Beurteilung der Modellierungsgüte für die Aggregationsweise ..	204
Abb. 4.9. : Beurteilung der Modellierungsgüte für das Gewichtungskrit. ..	205
Abb. 4.10.: Beurteilung der Modellierungsgüte für die Gewichtung	205
Abb. 4.11.: Beurteilung der Modellierungsgüte für Ziel- und Alternativenstrukturen	206
Abb. 4.12.: Beurteilung für Bewertungsweisen (detailliert)	208
Abb. 4.13.: Beurteilung für Bewertungsweisen (vereinfacht)	208
Abb. 4.14.: Beurteilung des Bewertungs- und Erfassungsaufwandes	209
Abb. 4.15.: Übersicht über Beurteilungen von Bewertungsweisen	210

Abb. 4.16.: Übersichtsschema : Allgemeine Eignungsbeurteilung	212
Abb. 4.17.: Speicher- und Rechenzeitbedarf	213
Abb. 4.18.: Beurteilung der Modellierungsgüte für alle Modellierungsalternativen	216
Abb. 4.19.: Detaillierte Beurteilungsübersicht für eine Modellierungsalternative	217
Abb. 4.20.: Modellierungsgüte und Erfassungsaufwand	218
Abb. 4.21.: Einflußbereiche für Modellierungsgüte und Anzahl Modellierungsalternativen	219
Abb. 4.22.: Lösung eines Zuordnungsproblems bei 11 Schwimmern	220
Abb. 4.23.: Bewertung der Aufstellungsmöglichkeiten ohne Beachtung der Reihenfolge von Wettkampfabschnitten für einen Schwimmer ..	221
Abb. 4.24.: Bewertung der Aufstellungsmöglichkeiten ohne Beachtung der Reihenfolge von Wettkampfabschnitten für alle 11 Schwimmer ..	222
Abb. 4.25.: Unscharfe Gewichte gemäß Leistungspunktzahlen	223
Abb. 4.26.: Numerisch beste Alternative	223
Abb. 4.27.: Mächtigkeit der Menge \mathfrak{X} für EAG und OAG in Abhängigkeit der Indifferenzschranke α	224

ANHANG

Abb. B.1. : Multiplikation von unscharfen Zahlen	243
--	-----

BEISPIELE

Beispiel 1.1a.: Entscheidungsmodelle in einer unscharfen Menge	12
Beispiel 1.1b.: Linguistische Variable "Alter"	13
Beispiel 1.2. : Bewertungen für Entscheidungsmodelle	15
Beispiel 1.3. : Linguistische Einzelbewertung für die Modellierungsgüte von Entscheidungsmodellen	18
Beispiel 1.4. : Reziproke Matrix	36
Beispiel 1.5. : Fünf vollständig geordnete Alternativen	40
Beispiel 1.6. : Einfache Hierarchie mit zwei Alternativen	41
Beispiel 1.7. : Hierarchie für Alternativen mit zwei Eigenschaften	43
Beispiel 2.1. : Hierarchie mit drei Bewertungskriterien, vier Attributen und n Alternativen	60
Beispiel 2.2. : Zwei Modellierungsweisen der Zielhierarchie	60
Beispiel 2.3. : Zwei Modellierungsweisen von Alternativen	61
Beispiel 2.4. : Gemeinsame Bewertung von mehreren Kriterien	63
Beispiel 3.1. : Klassenbildung mit Schwellenwerten	112
Beispiel 3.2. : Vergleich von Zugehörigkeitsfunktionen	115
Beispiel 3.3. : Diskriminierungsfähigkeit des EAG-Verfahrens	118
Beispiel 3.4. : Präferenzunterschiede durch verschiedene Zielgewichtungen	131
Beispiel 3.5. : Relativer Größenunterschied Δ gilt bei Durch- schnittsbetrachtung	153
Beispiel 3.6. : Größenberechnung eines Indifferenzintervall	156
Beispiel 3.7. : Ressourcenvergleich : Rechenzeitbedarf (in Sekunden) ..	168
Beispiel 3.8. : Speicherbedarf für EAG und OAG	170
Beispiel 3.9. : Eine ressourcenschonende Anwendungsreihenfolge	175
Beispiel B.1. : Multiplikation von unscharfen Zahlen	243