



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

Multikriterielle Bewertung der Wohnraumeignung ausgewählter Stadterweiterungsgebiete von Quito, Ecuador

vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH)
Philipp Maximilian Uebele
U1380, UNIGIS MSc Jahrgang 2008

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc (GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

München, den 26.05.2011

Erklärung über eigenständige Arbeit

"Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet."

München, den 26.05.2011

Philipp Uebele

Kurzfassung (Deutsch)

In dieser Master Thesis wird ein multikriterielles Entscheidungsverfahren mittels GIS-gestützter Methoden beschrieben und am Beispiel von Erweiterungsflächen der Stadt Quito (Ecuador) umgesetzt. Im wissenschaftlichen Teil dieser Master Thesis werden neben den Grundlagen der Entscheidungstheorie der Ablauf von Planungsprozessen und die verschiedenen Möglichkeiten Entscheidungsprobleme zu bewältigen behandelt. Ferner werden Arten und Merkmale von multikriteriellen Entscheidungsverfahren vorgestellt. In Bezug auf GI-Systeme wird erläutert inwieweit sie sich als Entscheidungsunterstützungssysteme bei multikriteriellen Entscheidungsverfahren eignen. Anschließend folgt eine Betrachtung von additiven Gewichtungsmethoden um zu zeigen wie Kriterien gewichtet und aggregiert werden können. Im angewandten Teil der Master Thesis wird das Analysekonzept bezüglich der Bewertung der Wohnraumeignung in Quito dargelegt und die methodische Umsetzung der Eignungsbewertung mit Interpretation und Bewertung der Ergebnisse erläutert. Für die Analyse wird ein GIS-gestütztes Analysemodell erstellt und zur Gewichtung der Bewertungskriterien auf die additive Gewichtungsmethode des *Analytic Hierarchy Process* (AHP) zurückgegriffen. Durch die Annahme von verschiedenen Szenarien soll dargestellt werden, wie sich die Wahl und Definition der Modellparameter auf das Ergebnis auswirken. Dadurch soll Sinn und Zweck einer Sensitivitätsanalyse dargelegt und die Auswirkungen des *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) auf das Analyseergebnis aufgezeigt werden.

Abstract (Englisch)

In this Master Thesis it is described how multicriterial decision making can be made by applying GIS-based methods using the example of the development situation of the city of Quito (Ecuador). The scientific part shows the basics of decision theory, the elements of the decision process and the different possibilities of solving decision problems. Further the types and characteristics of multicriterial decision making processes are described. Also it is explained how far GI systems are useful as decision supporting systems during multicriterial analysis followed by a consideration of additive weighting methods to show how criteria can be weighted and aggregated. The applied part of this thesis starts with the analysis concept regarding the development situation in Quito. It is explained how the methodic implementation of the suitability analysis related to residential use is made continued by the interpretation and evaluation of the results. A GIS-based analyze model is used for the analysis and the weighting is conducted by using the method of *Analytic Hierarchy Process* (AHP). On the one hand the toughness of the analyze model is proofed by adjusting the parameters in different scenarios. The effects on the analyses results caused by the choice and change of parameter adjustments are revealed on the other hand. In this context it is explained and exposed what the matter of a sensitivity analysis is and how the *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) affects the spatial analyze.

Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie meiner Frau Melisa, meiner Familie und meinen Freunden für die Motivation und moralische Unterstützung während des Studiums und insbesondere bei der Erstellung dieser Master Thesis. Auch möchte ich mich beim UNIGIS Team der Universität Salzburg unter Leitung von Herrn Professor Dr. Strobl für ein lehr- und abwechslungsreiches Studium und eine hervorragende Betreuung bedanken, besonders bei Karl Atzmanstorfer und Richard Resl. Ein weiterer Dank gilt meinem Arbeitgeber, sowie meinen Kollegen für ihre Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung über eigenständige Arbeit	II
Kurzfassung (Deutsch).....	III
Abstract (Englisch).....	IV
Danksagung.....	V
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XII
1 Einleitung.....	1
2 Literaturüberblick.....	5
3 Entscheidungstheoretische Betrachtungen.....	6
3.1 Grundbegriffe und Theorien	6
3.1.1 Der Begriff „Entscheidung“	6
3.1.2 Rationales Entscheiden	8
3.1.3 Deskriptive Entscheidungstheorie.....	8
3.1.4 Präskriptive Entscheidungstheorie.....	9
3.2 Prozessplanung.....	10
3.2.1 Systemeigenschaften.....	11
3.2.2 Planungsprozess	12
3.2.3 Systemgrobanalyse.....	13
3.3 Phasen im Entscheidungsprozess und Entscheidungsunterstützung.....	14
3.3.1 Objekt- und Metaphase	15
3.3.2 Entscheidungsproblem	16
3.3.3 Ziele	20
3.4 Entscheidungsmodell	23
3.4.1 Modellarten	24

3.4.2 Elemente im Entscheidungsmodell	24
3.4.3 Zielfunktion.....	25
3.4.4 Entscheidungsfeld	26
3.5. Entscheidungskriterium	28
3.5.1. Präferenzfunktion und Entscheidungsregel.....	28
3.5.2. Entscheidungsprinzip	29
3.5.3 Datenqualität und Fuzziness	30
3.5.4 Attributsausprägungen und Messskalen.....	31
3.6 Entscheidungsverfahren	32
3.6.1 Arten von Entscheidungsverfahren	33
3.6.2 Heuristische Entscheidungsverfahren	33
3.6.3 Analytische Entscheidungsverfahren	34
3.7 Räumliche Multikriterielle Entscheidungssysteme.....	34
3.7.1 Prozesssystem bei multikriteriellen Entscheidungen	35
3.7.2 Komponenten der Multikriteriellen Entscheidungsfindung.....	35
3.7.3 Kategorien der Multikriteriellen Entscheidungsfindung (MCDM)	36
3.7.4 Multiobjektive und multiattributive Entscheidungsprobleme.....	37
3.7.5 Einzel-Entscheidungsproblem und Mehrpersonen-Entscheidungsproblem	39
3.7.6 Methodik der räumlichen Multikriteriellen Entscheidungsfindung.....	39
3.8 GI Systeme als räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (Spatial Decision Support Systems)	41
3.8.1 Geographische Informationssysteme in der raumbezogenen Planung.....	42
3.8.2 Grundfunktionen von Geographischen Informationssystemen.....	43
3.8.3 Raster- und Vektordaten in Geographischen Informationssystemen.....	44
3.8.4 Geographische Informationssysteme zur Planungsunterstützung.....	45
3.9 Gewichtung und Methoden bei Multikriteriellen Entscheidungsverfahren	46
3.9.1 Satisfizierende Gewichtungsmethoden	47

3.9.2 Additive Gewichtungsmethoden.....	47
3.9.3 Phasenschema einfacher additiver Gewichtungsverfahren.....	48
3.9.4 Sonstige Gewichtungsverfahren.....	51
3.10 Analytic Hierarchy Process (AHP).....	51
3.10.1 Methodik.....	52
3.10.2 Phasenschema hierarchischer additiver Gewichtungsmethoden.....	53
3.10.3 Attributseinstufung und Gewichtung.....	54
3.11. Evaluierungsmethoden und Problemstellungen.....	57
3.11.1 Sensitivitätsanalyse.....	57
3.11.2. Modifiable Area Unit Problem (MAUP).....	58
4 Lösungsansatz.....	65
4.1 Problemanalyse.....	65
4.1.1 Problemdefiniton.....	65
4.1.2 Umsetzbarkeit.....	65
4.2 Problemrelevante Kriterien und Faktoren.....	67
4.3 Untersuchungsgebiet.....	68
4.4 Konzept.....	68
4.5 Methodische Umsetzung.....	69
4.5.1 Flächenalternativen und Untersuchungseinheiten.....	69
4.5.2 Projektkoordinatensystem.....	70
4.5.3 Software.....	71
4.5.4 Datenqualität.....	71
4.5.5 Sichtung und Aufbereitung der Daten.....	72
4.5.6 Datenhaltung.....	73
4.5.7 Schwellwertfestlegung.....	73
4.5.8 Modellerstellung.....	74
4.5.9 Restriktionsflächen.....	75

4.5.10 Eignungsbewertung durch die Faktoren	79
4.5.11 Gewichtete Aggregation der Eignungswerte	81
4.5.12 Zusammenführen der Teilergebnisse	83
4.5.13 Evaluierung	84
5 Analyse.....	85
5.1 Szenario 1: Basisszenario.....	85
5.1.1 Beschreibung.....	85
5.1.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 1	87
5.2 Szenario 2: veränderte Gewichtung	89
5.2.1 Beschreibung.....	89
5.2.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 2	90
5.3 Szenario 3: verringerte Klassenanzahl	91
5.3.1 Beschreibung.....	91
5.3.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 3	92
5.4 Szenario 4: veränderte Rasterweite.....	93
5.4.1 Beschreibung.....	93
5.4.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 4	94
5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	95
6 Schluss	97
Literaturverzeichnis.....	100
Anhang	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 01: Idealtypischer Entscheidungsprozess nach MEIXNER, 2010.....	15
Abbildung 02: Arten von Entscheidungsproblemen.....	17
Abbildung 03: Basiselemente eines Entscheidungsmodells.....	25
Abbildung 04: Dichotomie von Multicriteria Decision Problems.....	36
Abbildung 05: Phasenschema, einstufig additive Gewichtungungsverfahren.....	48
Abbildung 06: Phasenschema, hierarchische additive Gewichtungungsverfahren.....	53
Abbildung 07: Evaluationsmatrix und Skala.....	55
Abbildung 08: Tabelle Eigenvektorberechnung.....	56
Abbildung 09: Eigenvektorberechnung.....	56
Abbildung 10: Flächenkartogramm.....	63
Abbildung 11: Untersuchungsgebiet.....	68
Abbildung 12: Analysekonzept.....	69
Abbildung 13: Datenablage.....	73
Abbildung 14: Modellausschnitt Restriktionen.....	76
Abbildung 15: Neuklassifizierung der Hangneigungswerte.....	76
Abbildung 16: Neuklassifizierung Überschwemmungsgebiete.....	77
Abbildung 17: Beispiel Flächenausschluss.....	78
Abbildung 18: Beispiel Service Area.....	80
Abbildung 19: Modell Netzwerkanalyse.....	80
Abbildung 20: Beispiel Service Area.....	80
Abbildung 21: Beispiel gewichtete Aggregation.....	81
Abbildung 22: Beispiel Gewichtungsmatrix AHP-Extension.....	82
Abbildung 23: Zwischenschritt und Zusammenbringen der Teilergebnisse.....	83
Abbildung 24: Beispiel Endresultat - Eignungskarte.....	84
Abbildung 25: Ablage der Szenarienmodelle in der <i>Toolbox</i> von <i>ArcMap</i>	85
Abbildung 26: Auswahl Faktoren für Gewichtung mit AHP Extension, Szenario 1.....	86
Abbildung 27: Gewichtungsszenario 1_T1.....	87
Abbildung 28: Gewichtungsszenario 1_T2.....	87
Abbildung 29: Eignungskarte Szenario 1.....	88
Abbildung 30: Eignungskarte Szenario 2.....	90
Abbildung 31: Eignungskarte Szenario 3.....	92
Abbildung 32: Eignungskarte Szenario 4.....	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 01: Flächenübersicht PUOS.....	70
Tabelle 02: Nomenklatur.....	75
Tabelle 03: Flächenangaben.....	79
Tabelle 04: Verhältnisskala.....	82
Tabelle 05: Bewertungsstufen im Vergleich.....	91

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
GIS	Geographisches Informationssystem
MODM	Multiobjektive Decision Making
MADM	Multiattributive Decision Making
MCDM	Multicriteria Decision Making
MAUP	Modifiable Area Unit Problem
NAQ	Nueva Aeropuerto de Quito
NGO	Non-Governmental Organization
PUOS	Plan de uso y ocupación del suelo
SMDM	Spatial Multicriterial Decision Making - Räumliche Multikriterielle Entscheidungsverfahren
SMCDS	Spatial Multicriterial Decision Systems - Räumliche Multikriterielle Entscheidungssysteme
SAW	Simple Additive Weighting Methods
USFQ	Universidad San Francisco de Quito
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
bzw.	beziehungsweise
ff	folgende
et al.	(lat.) und andere
u. a.	und anderen
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiele

1 Einleitung

Der Beginn der Industrialisierung im 18. Jahrhundert war in Europa der Startschuss für eine über die Jahrhunderte stetig zunehmende Urbanisierung. Auf dem Land herrschten weithin Armut, Hunger und Perspektivlosigkeit. Um dieser Situation zu entfliehen, zogen die Menschen in die Städte, wo sie in den Industrieanlagen Arbeit fanden. Zu Beginn erfolgte diese Zuwanderung ungeplant und ungesteuert, was zu Problemen mit Kriminalität, Krankheiten, Wohnungsknappheit und zu sozialen Problemen führte. Im Laufe der Zeit entwickelten die Städte Konzepte, um dem Zuwanderungsdruck standhalten zu können – die Vorläufer der Raum- und Stadtplanung. Diese Planung orientiert sich noch heute gleichermaßen an den Bedürfnissen der in den Städten wohnenden Menschen wie an den Anforderungen und Wünschen der Privatwirtschaft. Ziel ist es, zwischen den Ansprüchen der unterschiedlichen Interessengruppen eine Balance zu finden. Während in Europa nach Jahrhunderten des Fortschritts und der Stadtentwicklung Gesetze und Verordnungen bestehen sowie Analyse- und Planungsmethoden zur kontrollierten Steuerung des Stadtwachstums angewandt werden, sieht die Situation in Lateinamerika anders aus. Entwicklungsländer wie Bolivien, Ecuador, Nicaragua, Peru oder Venezuela, erlebten die Phase des technischen Fortschritts erst im Laufe des 20. Jahrhunderts. Die Bewohner dieser Länder machten in wenigen Jahrzehnten Entwicklungen durch, für die die Bevölkerungen Europas mehrere Jahrhunderte Zeit hatten. Die Entwicklung und damit auch die Urbanisierung vollziehen sich dort in einem viel kürzeren Zeitraum und mit sehr viel höherer Geschwindigkeit. Besonders die Arbeitslosigkeit und die damit einhergehende Perspektivlosigkeit der Jugend sowie die Verbreitung des *westlichen Lebensstils* führen zu hohem Zuwanderungsdruck auf die zentralen Städte. Die Motorisierung breiter Bevölkerungsschichten führt zu chaotischen Verkehrssituationen. In unserer globalisierten Welt werden viele Entwicklungsländer alles daran setzen, die nächsten Entwicklungsstufen zu erreichen und gegenüber den führenden Industrienationen in Bezug auf den Lebensstandard und den Wohlstand aufzuholen. Für die nächsten Jahre müssten die verantwortlichen Behörden Konzepte entwickeln, mit denen sie die Entwicklung steuern und bewältigen können. Unterstützt von Regierungen der Industrieländer und NGOs (Non Governmental Organisations) findet zwar so etwas wie eine Implementierung von Planungsprozessen und Raumordnungsverfahren statt. In der Realität jedoch werden grundlegende Analysen und planungsunterstützende Maßnahmen vernachlässigt. Besonders an den Stadträndern erfolgt die

Stadtentwicklung bzw. Stadterweiterung ungesteuert, indem die zugewanderten Menschen Land besetzen. Dies führt zu illegalen Siedlungen, sozialen Problemen sowie zu Umwelt- und Versorgungsproblemen. Einrichtungen der Daseinsvorsorge fehlen ganz oder sind nur in unzureichendem Maße vorhanden.

Quito ist die Hauptstadt von Ecuador und liegt auf einer Höhe von ca. 2.800 m auf einem Plateau der Anden. Erweiterungsflächen sind im Kerngebiet der Stadt kaum noch vorhanden und da weiterhin Siedlungsdruck durch die Landbevölkerung besteht, wächst die Stadt in die umliegenden Täler. Östlich des an Quito angrenzenden Tals von Cumbaya und Tumbaco entsteht ein neuer Flughafen, der zusätzliche Anziehungskraft auf Zuwanderer ausübt.

Quito wächst weitgehend ungesteuert und die Ausweisung von Erweiterungsgebieten erfolgt meist ohne adäquat ausgearbeitete Planungsgrundlagen. Auf tief greifende Eignungsbewertungen wird meist verzichtet, weshalb die Erweiterungsgebiete dieser Stadt als Untersuchungsobjekte ausgewählt wurden. In der vorliegenden Master Thesis wird am Beispiel der Wohnnutzung eine multikriterielle Eignungsbewertung durchgeführt und dabei aufgezeigt werden, welche Konzepte und Methoden dafür eingesetzt werden können.

Problemstellung

Das eigentliche Stadtgebiet von Quito kann aufgrund begrenzender Faktoren nur mehr erweitert werden indem neue Siedlungsgebiete im Umland erschlossen werden. Dort, wo Siedlungen gebaut werden, müssen Einrichtungen der Daseinsvorsorge vorhanden sein, damit eine adäquate Wohnnutzung möglich ist. Ob sich eine Fläche für die Wohnnutzung eignet, entscheiden Ausschlusskriterien und Eignungsfaktoren sowie deren Gewichtung. Die Suche nach geeigneten Flächen ist mit der Suche nach einem neuen Fabrikationsstandort zu vergleichen. Die in Frage kommenden Flächen können als Alternativen angesehen werden. Die Frage nach einem geeigneten Standort bzw. einer geeigneten Fläche stellt ein Entscheidungsproblem dar, zu dessen Lösung ein Entscheidungsverfahren durchgeführt werden muss. Da eine Reihe von Kriterien bei der Eignungsbewertung berücksichtigt werden müssen, handelt es sich hierbei um ein multikriterielles Entscheidungsverfahren.

Lösungsansatz

Bevor mit einem Entscheidungsverfahren begonnen werden kann, gilt es sich mit den Grundlagen der Entscheidungstheorie vertraut zu machen. Es muss untersucht werden,

was genau ein Entscheidungsproblem kennzeichnet, wie der Begriff der Entscheidung definiert ist, welche Arten von Entscheidungsverfahren zur Verfügung stehen und durch welche Methoden und Werkzeuge ein Entscheidungsverfahren umgesetzt werden kann. Ferner muss festgestellt werden, welche Kriterien und Merkmalsausprägungen bei der Eignungsbewertung für die Wohnnutzung berücksichtigt werden müssen und nach welchen Verfahren eine Gewichtung der Kriterien möglich ist. Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung soll ein Geographisches Informationssystem (GI System) eingesetzt werden, das der Aufbereitung von Daten des *Geocentro USFQ* (*Geodatenzentrum der Universität Quito*) und der Erstellung eines Analysemodells dienen wird.

Ziele

Untersuchungsgebiet ist das Umland von Quito. Grundlage der multikriteriellen Bewertung bilden die bis zum Jahr 2020 zur Erschließung ausgewiesenen Erweiterungsflächen. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund von Restriktionen nicht alle Flächen für eine Erschließung zur Wohnnutzung geeignet sind und geeignete Flächen qualitative Unterschiede aufweisen. Ich werde eine Eignungskarte erstellen, die die räumliche Verteilung von für die Wohnnutzung geeigneten Flächen aufzeigt.

Das wissenschaftliche Ziel dieser Master Thesis ist es, ein multikriterielles Entscheidungsverfahren mittels GIS- gestützter Methoden zu beschreiben und umzusetzen. Anhand verschiedener Parameterszenarien mit veränderter Gewichtung, unterschiedlicher Anzahl von Bewertungsklassen und variierender Größe der Untersuchungseinheiten soll zum einen die Robustheit des Modells aufgezeigt werden. Zum anderen werde ich darstellen, wie sich die Wahl und Definition der Modellparameter auf das Ergebnis auswirken.

Es ist nicht Ziel dieser Master Thesis, statistische Auswertungen der räumlichen Verteilung von Eignungsflächen durchzuführen oder Vergleiche der verschiedenen Verwaltungszonen anzustellen, aus denen sich das Untersuchungsgebiet zusammensetzt. Auch eine ausführliche kartographische Darstellung der Ergebnisse ist nicht vorgesehen und schließlich werde ich auch keine Bewertung der eingesetzten Software oder Extension durchführen.

Aufbau der Master Thesis

Im theoretischen Teil der Master Thesis betrachte ich die Grundlagen der Entscheidungstheorie. Da ein Entscheidungsverfahren immer einen Prozess darstellt,

folgen in den weiteren Abschnitten Betrachtungen zu Prozessphasen und der Theorie von Planungssystemen. Auf die Elemente von Entscheidungsprozessen sowie die verschiedenen Arten von Entscheidungsverfahren gehe ich in den darauffolgenden Abschnitten ein. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den multikriteriellen Entscheidungsverfahren.

Im weiteren Verlauf gehe ich der Frage nach, inwieweit sich GI-Systeme als Entscheidungsunterstützungssysteme eignen, bzw. welche Funktionalitäten ihre Eignung belegen. Gewichtungsmethoden von multikriteriellen Entscheidungssystemen, insbesondere die Methode des *Analytic Hierarchy Process* (AHP), sowie eine Betrachtung von Evaluationsmethoden bilden den Abschluss des theoretischen Teils dieser Master Thesis. In diesem Zusammenhang gehe ich im Anschluss noch auf die Sensitivitätsanalyse und das *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) ein.

Die Durchführung der Eignungsbewertung bildet den zweiten Teil dieser wissenschaftlichen Arbeit. Dazu untersuche ich zunächst die Problemstellung und erläutere das Lösungskonzept. Die methodische Umsetzung und die Interpretation der Ergebnisse bilden den Abschluss der Eignungsbewertung.

2 Literaturüberblick

Ausführungen zur Entscheidungstheorie finden sich bei Meixner (2010), Laux (1998), Saaty (1994) sowie Schneeweiß (1991). Letzterer widmet sich in den beiden Bänden *Planung 1* und *Planung 2* ausführlich Planung und Systemtheorie, sowie Prozessgestaltung und Entscheidungsfindung. Für das Themenfeld der Entscheidungsfindung ist in den Bibliotheken umfangreiche Literatur vorhanden. Gerade Autoren aus dem Bereich der Betriebswirtschaftslehre beschäftigen sich mit diesem Thema: Grünig (2009), Hax (1974), Heinen (1976), Malik (2000) und Kesting (2003).

Das englischsprachige Standardwerk für den *Analytic Hierarchy Process* (AHP) stammt von Saaty (1994). Weitere Titel zu diesem Thema gibt es von Golden et al. (1989) mit einer Reihe von Fallbeispielen. Im *UNITAR Workbook* erklärt Eastman die Anwendung der Methode im Zusammenhang mit Decision Making. Deutsche Literatur zu diesem Thema findet sich in der Schriftenreihe *Arbeitsberichte des Instituts für Produktion und Industrielles Informationsmanagement* der Universität Essen, in denen die Theorie an Fallbeispielen veranschaulicht wird. Als Autoren sind hierzu Peters (2003, 2006) und Song (1998) hervorzuheben. Weber (1993), der sich den multikriteriellen Entscheidungen widmet, beschreibt neben der AHP-Methode weitere Gewichtungsmethoden.

Zu den Themen multikriterielle Entscheidungsverfahren und Geographische Informationssysteme (GI Systeme) sind besonders zu empfehlen: Malczewski (1999 und die ergänzte und überarbeitete Ausgabe von 2011). Sehr ausführlich schildert er die Theorie, die Verfahren und GI Systeme als Entscheidungsunterstützungswerkzeug. Klichenmann und Schwarz-v. Raumer (1999) haben Fallbeispiele und Methodik von verschiedenen Autoren zusammengetragen.

Die Recherche nach Bewertungskriterien der Daseinsvorsorge für die Bewertung der Wohnnutzung und Bebaubarkeit von Flächen basiert auf Literatur von Kistenmacher (1988), Rämpel (1984), Song (1998), Dückert (1977), Platzner (2000) und Neu (2009).

Zum Problem des *Modifiable Area Unit Problems* (MAUP) ist sehr wenig Literatur vorhanden. Lediglich von Openshaw (1984) gibt es in der englischen Sprache eine kompakte Broschüre. Neuere Beiträge sind im Internet zu finden. Unter der Adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr> führt der Beitrag von Grasland (2009) ausführlich und mit Beispielen an das Thema heran. Weniger, aber doch hilfreiche Ausführungen, finden sich in der Dissertation von Strotebeck (2010).

3 Entscheidungstheoretische Betrachtungen

3.1 Grundbegriffe und Theorien

Es gibt die formale, die normative, die deskriptive sowie die präskriptive Entscheidungstheorie.

Die *Formale Entscheidungstheorie* besagt, dass der wichtigste Bestandteil des rationalen Entscheidens die Aufdeckung formaler Zusammenhänge ist. Sämtliche Informationen über ein *Entscheidungsproblem* sollen analytisch verwertet werden. Sie fließt in jeden weiteren Ausbau der Entscheidungstheorie mit ein.

Die *Normative Entscheidungstheorie* versucht sich an der Fragestellung, wie *rationales Verhalten* in einem Entscheidungsprozess erreicht werden kann. Sie beschreibt die Suche nach *Rationalitätsanforderungen* (SCHNEEWEIß, 1991, S.84). Aus diesen Anforderungen heraus, versucht die *Normative Entscheidungstheorie* Kriterien zu entwickeln, die es dem Entscheider erlauben, anhand mehrerer Zielkriterien oder Zielsysteme eine Entscheidung zu treffen, selbst wenn keine Bewertungskriterien vorliegen. (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.84). Eine Aufstellung verschiedener Typen von Entscheidungssystemen findet sich bei SCHNEEWEIß (1991, Kap. 3.3.3 und 5). Bevor unter 3.1.4 auf die *Präskriptive* und ihr vorangestellt, auf die *Deskriptive Theorie* (3.1.3), näher eingegangen wird, werden im Folgenden die Begriffe *Rationalität* bzw. *Rationales Entscheiden* erläutert.

3.1.1 Der Begriff „Entscheidung“

„Der Begriff der „Entscheidung“ wird im allgemeinen Sprachgebrauch vor allem dann verwendet, wenn ein Wahlproblem von besonderer Bedeutung vorliegt, von dessen Ausgang vieles abhängt“ (LAUX, 1998, S.1).

Aus wissenschaftlicher Sicht ist eine Entscheidung somit als ein Entscheidungsproblem zu betrachten. Ein Entscheidungsproblem ist eine Abweichung zwischen einer Soll-Vorstellung und dem Ist-Zustand, zu dessen Bewältigung mindestens zwei Varianten zur Auswahl stehen. Das Problem besteht darin, aus einer Menge von Alternativen eine Handlungsalternative auszuwählen.

Laut GRÜNIG gibt es folgende Wege zur Bewältigung eines Entscheidungsproblems (2009, S.7):

- Intuitive Lösungswahl

- Rückgriff auf eine Routine (eine in der Vergangenheit realisierte Lösung)
- Übernahme einer nicht hinterfragten Lösung eines Experten
- Rückgriff auf einen Zufallsmechanismus
- Durchführung eines systematischen und somit rationalen Denkprozesses

SAATY reduziert hingegen auf zwei Möglichkeiten: „There are two kinds of decisions: intuitive and analytical” (SAATY, 1994, Preface). Menschen treffen Entscheidungen intuitiv, *aus dem Bauch heraus*. Dabei orientieren sie sich weder an Daten noch dokumentieren sie ihre Entscheidungsfindung. Vielmehr werden Entscheidungen von der Logik, der Gefühlslage, dem Gemütszustand und der Erfahrung („logic and feelings, emotions, intuition and experience“ (SAATY, 1994, Preface)) beeinflusst. Eine intuitive Entscheidung ist nicht unbedingt falsch, sie wird jedoch rein willkürlich getroffen. Für den Alltag mag diese Vorgehensweise vollkommen in Ordnung sein, jedoch werden an eine Entscheidungen von größerer Tragweite, die ganze Gruppen von Personen betrifft, wie beispielsweise die Analyse der Eignung von Stadterweiterungsgebieten, höhere Anforderungen gestellt. Die geeignete Vorgehensweise Entscheidungen in einem Unternehmen oder einer Behörde herbeizuführen ist die analytische, oder wie GRÜNIG (2009) sie nennt „systematische, auf einen rationalen Denkprozess aufbauende“ Vorgehensweise. Eine rationale, systematische Entscheidungsfindung setzt einen Planungsprozess voraus.

Die Akzeptanz bei den Betroffenen ist nur zu gewinnen, wenn der Weg und die angewandte Logik die hinter der Entscheidungsfindung stehen, überzeugend dargelegt werden. Betroffene können an der Entscheidungsfindung partizipieren, und der Entscheider hat die Möglichkeit externes Expertenwissen in seine Entscheidung einfließen zu lassen. Eine nachträgliche Reflektion der Entscheidungsfindung ist für die Gruppe möglich, wodurch ein Lernprozess stattfindet, der für zukünftige Entscheidungsfindungen wertvoll sein kann (vgl. SAATY, 1994, Preface).

Nach EASTMAN ist eine Entscheidung eine Wahl zwischen Alternativen, bei der mit menschlicher Rationalität vorgegangen wird und die Bewertung anhand von Kriterien erfolgt (vgl. EASTMAN, 1993, S.2).

3.1.2 Rationales Entscheiden

GRÜNIG (2009, S.44) schreibt: „Rationalität bezieht sich (...) auf die Sorgfalt und Systematik der Durchführung des Entscheidungsprozesses.“ Rationalität bezieht sich dabei ausdrücklich nicht auf den Erfolg oder Misserfolg einer gewählten Variante.

Ein Entscheidungsprozess ist rational, wenn er durchgehend zielgerichtet ist und sich konsequent an den übergeordneten Zielen orientiert. Die angestellten Überlegungen basieren auf möglichst objektiven und vollständigen Informationen. Der Entscheidungsprozess folgt einem systematischen Vorgehen und verwendet klare methodische Regeln. Er ist für Nichtbeteiligte nachvollziehbar. Diese Merkmale werden als *Formale Rationalität* (GRÜNIG, 2009, S.44) bezeichnet (vgl. GRÜNIG, 2009, S.44).

Eine andere Form der Rationalität ist die *Beschränkte Rationalität* (KESTING, 2004, S.33). Bei ihr wird von der Beschränkung menschlicher Kenntnisse und Denkkapazitäten ausgegangen. Nach KESTING ist es dem Akteur unmöglich die Ausführung aller Handlungsmöglichkeiten in Erwägung zu ziehen und erschöpfend zu durchdenken.

„Ob und in welcher Intensität ein Akteur die Ausführung einer Handlung durchdenkt ist vielmehr ein Charakteristikum, daß mit dem Begriff der *Bewußtheit* bezeichnet werden kann“ (KESTING, 2004, S.35). Der Begriff soll dabei nicht im psychologischen Sinne verstanden werden. Vielmehr soll damit ausgedrückt werden in welcher Intensität ein Entscheider Sachkenntnisse in den Prozess der Entscheidungsfindung einbezieht (vgl. KESTING, 2004, S.33-36).

3.1.3 Deskriptive Entscheidungstheorie

Die *Deskriptive Entscheidungstheorie* hat ihre Wurzeln in der Psychologie und Soziologie. Ihr Ansinnen ist es herauszufinden, warum bestimmte Entscheidungen (z. B. für ein bestimmtes Produkt) getroffen werden (vgl. EASTMAN, 1993). Es geht nicht um die getroffene Entscheidung, sondern lediglich darum das Entscheidungsverhalten einer Person oder einer Gruppe zu beschreiben (vgl. SCHNEEWEIß, 1992, S.58).

Die Theorie geht der Frage nach wie Individuen oder Gruppen zu Bewertungen über ungewisse Ereignisse kommen. Es werden die Auswirkungen psychologischer und sozialer Aspekte, wie Gruppenbildung, Gruppendiskussion und die Rolle von Charaktereigenschaften der Mitglieder, auf den Ablauf der zu lösenden Aufgabe

untersucht. Es ist zu klären wie und warum von Individuen und Gruppen in der Realität Entscheidungen getroffen werden und welche Faktoren bei der Herbeiführung einer Entscheidung eine Rolle spielen (vgl. LAUX, 1998, S.15).

Diese Vorgehensweise ist nur bedingt geeignet Planern bei konkreten Entscheidungsproblemen Unterstützung zu geben. Es ist sinnvoller bei der Strukturierung eines Entscheidungsproblems auf die Erkenntnisse der *Präskriptiven Entscheidungstheorie* zurückzugreifen. Dies soll keineswegs bedeuten, dass Erkenntnisse, welche aus dem deskriptiven Ansatz stammen, nicht relevant sind. Gerade in Bezug auf das Verhalten der von einer Planung Betroffenen, oder auf die zur Durchführung eines Planungsprozesses erforderliche Führungstätigkeit, spielen soziologische Kenntnisse eine Rolle. Ein aktuelles Beispiel sind Überlegungen in der Bundesrepublik Deutschland, Planungs- und Genehmigungsverfahren für Großprojekte, wie *Stuttgart 21(Umbau und Tieferlegung eines innerstädtischen Kopfbahnhofs)* oder die Suche nach einem atomaren Endlager, aufgrund der zunehmenden Bürgerproteste zu modifizieren. Deren Ursache ist das Gefühl der Ohnmacht gegenüber politischen Entscheidungen. Die Bürger fühlen sich nicht ausreichend an der Entscheidungsfindung beteiligt. Passend dazu schreibt LAUX, „Deskriptive Entscheidungstheorie „[...] kann somit dazu führen, daß der Entscheider eine (...) bessere Entscheidung trifft.“ Sie will „Empfehlungen für die Lösung von Entscheidungsproblemen geben“ (LAUX, 1998, S.14/15).

3.1.4 Präskriptive Entscheidungstheorie

Der *Präskriptiven Entscheidungstheorie*, welche auch als *Entscheidungslogik* bezeichnet wird, ist nicht daran gelegen, tatsächliche Entscheidungsprozesse zu beschreiben und zu erklären, sondern darzulegen wie Entscheidungen rational getroffen werden können. Um auf die Begrifflichkeiten einzugehen, muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass beispielsweise LAUX (1998, S.2) den Begriff der *Präskriptiven Theorie* dem der *Normativen Theorie* gleichsetzt.

Untersucht werden in der *Präskriptiven Theorie* Entscheidungen, die im Hinblick auf mehrere zueinander in Konflikt stehende Ziele, beispielsweise Nähe einer Neubausiedlung zum Stadtzentrum auf der einen Seite und Wohnen in der Natur auf der anderen, zu treffen sind (vgl. LAUX, 1998, S.2). Dabei wird der Fokus auf Entscheidungshilfen gerichtet, die dem Entscheider helfen die *richtigen* Handlungsalternativen auszuwählen. LAUX (1998, S.15) geht davon aus, dass nur rational entschieden werden kann, wenn Zielvorstellungen existieren, welche für die

Beurteilung von Alternativen unabdingbar sind. Im Kern geht die *Präskriptive Entscheidungstheorie* der Frage nach, wie das Zielsystem des Entscheiders erforscht werden kann. Anders ausgedrückt, befasst sie sich mit der Entwicklung, Bewertung und Anwendung von Techniken, die dem Entscheider die Entscheidungsfindung erleichtern. Zur Analyse von Problemen werden die Mathematik und die Statistik herangezogen.

Die traditionelle Form von *Präskriptiver Entscheidungsfindung* ist die *Kosten-Nutzenanalyse*. Durch den *Nutzwert* ergeben sich Präferenzen unter den Handlungsalternativen. Durch Stochastik wird ausgedrückt, wie wahrscheinlich ein Eintreten der Alternativen ist. Diese Vorgehensweise fällt unter den Begriff *Objektive Entscheidungsfindung*.

Das Anliegen der *Subjektiven Entscheidungsfindung* ist es dem Entscheider zu helfen seine Gedanken zu ordnen, konsistente Urteile/Bewertungen zu treffen und rational zu entscheiden. In diesem Zusammenhang ist die Methode des *Analytic Hierarchy Process* (AHP) zu nennen, auf die unter Punkt 3.10 gesondert eingegangen wird.

Die *Subjektive Entscheidungsfindung* findet bei Bewertungsanalysen in GI Systemen Anwendung. Diese Technik wird mit dem Ziel eingesetzt Aussagen über die Präferenzen des Entscheiders in verwertbarer Form zu bekommen. Diese Präferenzen werden durch Quantitäten, Gewichtungen, Relationen, Ziele und weitere Parameter ausgedrückt (vgl. EASTMAN, 1993, Preface).

3.2 Prozessplanung

Die Entscheidungsfindung gleicht einem Prozess, an dessen Anfang ein Entscheidungsproblem steht. Damit ein Entscheider ein Entscheidungsproblem lösen kann, muss er die Phasen und Komponenten eines Planungsprozesses kennen sowie die dahinter stehenden systemtheoretischen Überlegungen. So schreibt beispielsweise SCHNEEWEIß, dass die planerische Gestaltung eines Planungs- bzw. Entscheidungsproblems sich aus den Phasen der Konzeption, der Modellbildung, der Entscheidungsfindung sowie der Ausführung zusammensetzt. Zwischenschritte bilden die Ermittlung und Festlegung eines problembezogenen Objekt- und Wertsystems sowie die Durchführung und Kontrolle (vgl. SCHNEEWEIß, 1992, S.1/2, SCHNEEWEIß, 1991, S.54).

3.2.1 Systemeigenschaften

Systeme setzen sich aus einer Menge von Objekten zusammen, welche zueinander in Beziehung stehen. Den Zustand eines Systems legen die Ausprägungen der Mengen aller Attribute seiner Objekte und Relationen fest. Er gilt nur für einen bestimmten, gegebenen Zeitpunkt.

Ein Objekt beschreibt eine abgrenzbare Einheit. Objekte werden, wenn sie in ein System oder ein Modell abgebildet werden, als Entitäten oder Elemente bezeichnet. Objekte sind Träger von Attributen. Sie beschreiben die Eigenschaften (Merkmalsausprägungen) von Objekten, beispielsweise Farben, Geldbeträge oder Zustände. Diese Eigenschaften kommen in verschiedensten Ausprägungen vor, welche durch Mess- und Skalenniveaus beschrieben werden. Über ihre Attributsausprägungen können Relationen (Beziehungen) zwischen Objekten ermittelt werden. Tragen Attribute von verschiedenen Objekten gleiche Ausprägungen, z. B. ist die Farbe bei zwei Attributen grün, bilden sie ein komplexes Objekt, welches durch die gemeinsame Merkmalsausprägung der beiden Einzelobjekte festgelegt wird (vgl. Schneeweiß, 1991, S.18ff).

Das *Objektsystem* beschreibt und strukturiert den Sachverhalt, der durch Planung gestaltet werden soll. In ihm werden Aktionsmöglichkeiten (Handlungsalternativen) und deren Konsequenzen beschrieben. Für die Gestaltung der Aktionen innerhalb des Objektsystems wird ein *Wertsystem* entworfen (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.54). Nach LAUX (2009) beschreiben Objekt- und Wertsystem die Basiselemente der Struktur des Entscheidungsmodells.

Die Begrifflichkeiten in der Literatur variieren. So verwendet GRÜNIG (2009) die beiden Begriffe Entscheidungsfeld (Objektsystem) und Präferenzinformation (Wertsystem).

Um eine Planungsaufgabe (Entscheidungsproblem) zu lösen ist es notwendig Objekt- und Wertsystem zusammenzuführen. Dies macht eine Reihe von Entscheidungen notwendig bei denen die Umstände unter denen die Entscheidung getroffen wird berücksichtigt werden müssen. So gibt es unter anderem Entscheidungen bei unvollständiger Information, zwischen mehreren Personen sowie unter Beachtung mehrerer konfliktärer Ziele.

In der Planung kommt es in den seltensten Fällen vor, dass es schon nach Betrachtung des zugrundeliegenden Objekt- und Wertsystems zu einer Planungsentscheidung kommt.

Planungsentscheide fallen erst nach Durchführung einer quantitativen Analyse, wenn zur Bewertung quantitativ nachprüfbar Größen vorliegen. Dies gilt sowohl bei der Planung von Abläufen in einem Unternehmen, wie auch in einer Behörde. Für eine quantitative Analyse ist ein Entscheidungsmodell notwendig, welches die Planungsentscheidung bzw. die Entscheidungsfindung über die Durchführung eines Planungsvorhabens unterstützt (vgl. SCHNEEWEIß, 1992, S.2ff).

3.2.2 Planungsprozess

Ein Planungsprozess bzw. Entscheidungsprozess setzt sich aus folgenden Einzelschritten zusammen (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.6ff):

- Gestaltungswunsch: Die Idee zu einer Maßnahme wird getroffen und setzt den Planungsprozess in Gang.
- Systemgrobanalyse: Hier gilt es zu untersuchen, auf welchen Objektbereich sich die Planungsaufgabe erstreckt und welche Zielvorstellungen bestehen. Die vorhandenen Handlungsalternativen werden erfasst. Des Weiteren sind zukünftige Szenarien zu beschreiben und Prognosen zu erstellen, wie sich Situationen zum anvisierten Ausführungszeitpunkt darstellen werden (siehe 3.2.3).
- Vorteil-/Nachteilanalyse: Nach Abschluss der Grobanalyse wird geprüft, ob ein Planungsvorhaben vorangetrieben bzw. modifiziert werden sollte.
- Systemfeinanalyse: Das System wird verfeinert. Es erfolgt eine genauere Beschreibung von Objekt- und Wertebereich sowie die quantitative Erfassung der Objekte. Eingesetzt werden Prognosen und statistische Schätzverfahren. Die Datengrundlage wird vervollständigt.
- Vorteil-/Nachteilanalyse: Es wird erneut geprüft, ob das Planungsvorhaben einer Modifizierung bedarf. Die Frage, ob ein Planungsvorhaben überhaupt durchgeführt werden soll, stellt sich zu diesem Zeitpunkt nicht mehr. Sie wird schon nach der Grobanalyse mit Ja beantwortet.
- Entscheidungsmodell: Unter Bezugnahme auf das Wertesystem wird ein Modell erstellt, anhand dessen geprüft wird welche Entscheidung und Art der Umsetzung als optimal erachtet wird.
- Vorteil-/Nachteilanalyse: Erneute Prüfung des Planungsvorhabens und gegebenenfalls Modifizierung.

- Teilimplementierung, Probeläufe: Vor der Analyse wird das Modell erst teilweise und dann ganz (siehe nächster Schritt) auf seine Funktionstüchtigkeit geprüft.
- Vollimplementierung: Nachdem die Implementierung der Modellteile erfolgreich war, erfolgen vollständige Durchläufe. Aus den Ergebnissen werden Entscheidungen abgeleitet, die zu einer Durchführung des Planungsvorhabens führen.
- Nachbetreuung der Planung, Kontrolle und Dokumentation, Pflege der Daten: Dieser Punkt ist für die Nachvollziehbarkeit des Planungsprozesses wichtig. Entscheidungen, welche nachvollzogen werden können, haben in der Regel größere Akzeptanz.

3.2.3 Systemgrobanalyse

Bei dieser Phase handelt es sich in erster Linie um die Analyse des Objektsystems, mit dem Zweck das Modell weiterzuentwickeln. Dabei geht es um die Erfassung von Objekten, Attributen und Relationen. Diese hängen von der zu beschreibenden Realität, dem Zweck der Planung und der zur Durchführung der Planung verfügbaren Instrumentarien ab.

Im ersten Schritt muss der Realitätsausschnitt, welcher im Modell abgebildet werden soll, festgelegt werden. Dies geschieht durch Abgrenzung von Objekten. Hierbei wird über die Zugehörigkeit von physischen Objekten zum Modell entschieden. Im nächsten Schritt erfolgt die Abgrenzung von Straten. Dabei werden Attribute gruppiert. Beispiele für Straten sind sozioökonomische Faktoren oder Naturgefahren (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.49ff).

Die Analyse des Objektsystems besteht aus zwei Analyseschritten, der Innen- und Außenanalyse.

Zur Innenanalyse gehört die Festlegung des Modellaufbaus, also die der Attribute und Relationen. SCHNEEWEIß bezeichnet diesen Vorgang als „Systemprägung“ (1991, S.53). Weiters muss die Dynamik analysiert werden. Dies bedeutet, dass die Wirkungsweise von Veränderungen der Attribute und Relationen sowie deren Ausprägungen zu berücksichtigen und Eingriffsmöglichkeiten zu betrachten sind. Es wird geprüft, wie sich Veränderungen im Modell auf die Eigenschaften von Attributen auswirken. Treten dabei Konsequenzen auf andere System-/Modellbereiche auf, wird von *Dynamik* gesprochen.

Die Außenanalyse ist vielmehr eine Schnittstellenanalyse. Es wird der Frage nachgegangen, welche Wechselwirkungen zwischen Objektsystem und Systemumfeld bestehen (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.54-56).

Die Analyse des Wertsystems führt durch Bildung von Präferenzrelationen zu Rangfolgen in den Handlungsalternativen. Präferenzen sind definierte Zielerreichungsgrade, oder wie LAUX (1998, S.54) sie bezeichnet, Zielvorstellungen, welche durch Präferenzfunktionen ausgedrückt werden. Weitere Angaben dazu sind im Abschnitt 3.4.3 bei den Ausführungen zur Zielfunktion nachzulesen.

3.3 Phasen im Entscheidungsprozess und Entscheidungsunterstützung

„Die Entscheidungstheorie will einem Entscheider nicht dogmatisch vorschreiben, was er tun soll, sondern will ihm helfen, seine eigenen Zielvorstellungen in ein widerspruchsfreies „Zielsystem“ zu überführen und dann eine Entscheidung zu treffen, die mit diesem Zielsystem in Einklang steht“ (LAUX, 1998, S.3). Die Entscheidungstheorie sieht keine Wertung von Zielvorstellungen vor. Dies ist Aufgabe der Ethik.

Bei der Durchführung von Entscheidungsprozessen werden Entscheidungsprobleme gelöst. Diese Einzelentscheidungsprobleme setzen sich in erster Linie aus der Problemformulierung, der Vorgehensweise bei der Alternativensuche sowie der Ereignisprognose zusammen. Besonderes Augenmerk gilt hierbei der Alternativensuche. Anders ausgedrückt setzt sich eine Entscheidung aus einer Reihe von Stufen zusammen, die systematisch durchlaufen werden. Dieses Erkenntnis geht zurück auf die Präskriptive Entscheidungstheorie (siehe 3.1.4).

„Wird unter dem Begriff „Entscheidung“ nicht allein der Entschluß, sondern auch dessen Vorbereitung bezeichnet, so lässt sich eine Entscheidung als ein im Zeitablauf sich vollziehender Prozeß auffassen, der aus Vorentscheidungen und der Endentscheidung besteht“ (LAUX, 1998, S.8).

MEIXNER (2010, S.76) weist darauf hin, dass allein eine systematische Vorgehensweise zu einer Problemlösung führen kann, ohne dass auf eine aufwändige Methode zurückgegriffen werden muss. Ist dies nicht der Fall muss aus den Informationen, welche die einzelnen Prozessstufen liefern, ein Entscheidungsmodell konstruiert werden. Dieses Entscheidungsmodell gleicht einem Entscheidungsunterstützungssystem, wofür in der Fachliteratur der englische Terminus *Decision Support System* verwendet wird.

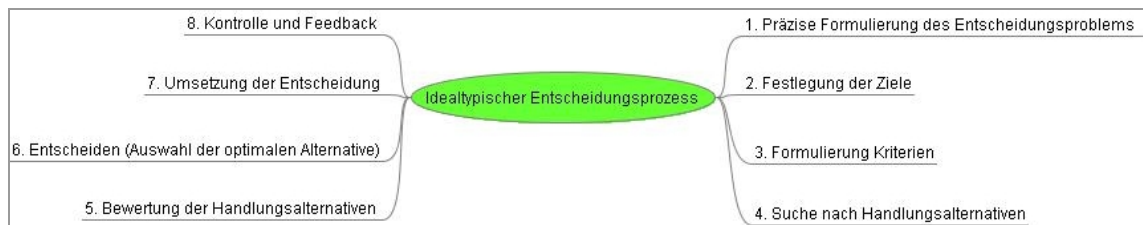


Abbildung 01: Idealtypischer Entscheidungsprozess nach MEIXNER, 2010

Eine Entscheidungssituation liegt vor, wenn ein mehrstufiger Prozess zur Alternativensuche und Präzisierung des Zielsystems durchlaufen wurde.

Solch ein Prozess ist ein Problemlösungsprozess bzw. Entscheidungsprozess. Mögliche Lösungen werden durch Alternativen repräsentiert. Die tatsächliche Lösung wird durch die gewählte Alternative repräsentiert. Für die Aufgaben, die sich im Zuge der Bearbeitung eines Entscheidungsprozesses ergeben ist eine Systematik notwendig, wie sie in Abbildung 01 aufgezeigt wird. Die einzelnen Arbeitsschritte sollen nicht isoliert von einander und nicht starr in der Reihenfolge angewandt werden (vgl. LAUX, 1998, S.8ff).

3.3.1 Objekt- und Metaphase

In der Entscheidungstheorie wird zwischen zwei Phasen der Entscheidungsfindung unterschieden. Zum einen handelt es sich dabei um die *Metaphase* und zum anderen um die *Objektphase* (vgl. LAUX, 1998, S.55).

In der Metaphase werden die Vorarbeiten geleistet. Sie ist unabhängig von der Methode, steht am Beginn eines Entscheidungsprozesses und umfasst folgende Arbeitsschritte (vgl. MEIXNER, 2010, S.78):

- Problemdefinition
- Festlegung von Zielen und Kriterien
- Alternativensuche
- Realisationsphase
- Kontrolle und Feedback

Zu den beiden letztgenannten Punkten wird LAUX (1998, S.56) konkreter. Die Realisationsphase steht bei ihm für die Konstruktion des Entscheidungsmodells. Unter Kontrolle und Feedback versteht er „die Überlegung, ob die mit Hilfe des Modells als „optimal“ bestimmte Lösung (bzw. die entsprechende Handlungsalternative) akzeptiert oder ob eine Planrevision erfolgen soll.“

Ein *Decision Support System* kann in der Metaphase nicht helfen, da es keine Methode gibt die dem Entscheider die Umsetzung der eben genannten Arbeitsschritte abnimmt. Es gibt lediglich unterstützende Methoden zur Problemdefinition bzw. zur Umsetzung der Arbeitsschritte, wie Brainstorming oder Projektmanagement. Es bleibt festzuhalten, dass „die Qualität einer Entscheidung sehr stark von vor und nach gelagerten Arbeiten innerhalb der Metaphase abhängt (...)“ (MEIXNER, 2010, S.78).

Die Anwendung eines *Decision Support Systems* bestimmt die Objektphase. Es unterstützt bei folgenden Aufgaben (vgl. MEIXNER, 2010, S.77):

- Kriteriengewichtung
- Alternativenbewertung
- Ableitung der optimalen Lösung
- Akzeptanzbeurteilung (ob eine Lösung als ausreichend *optimal* anzusehen ist)

Die Beschreibung der *Akzeptanzbeurteilung* in der Objektphase nach MEIXNER erfüllt den gleichen Zweck wie der Punkt *Kontrolle und Feedback* der Metaphase bzw. der Überlegung einer Planrevision nach LAUX. Dies lässt den Schluss zu, dass die beiden Phasen unter Umständen abwechselnd wiederholt durchlaufen werden müssen bis die Lösung des Entscheidungsproblems für den Entscheider befriedigend ausfällt.

3.3.2 Entscheidungsproblem

Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass überhaupt ein Entscheidungsproblem vorliegt, ist das Vorhandensein von Alternativen, auf deren Eigenschaften im Abschnitt 3.4.2.4 eingegangen wird. Grundvoraussetzung ist, dass mindestens zwei Alternativen vorliegen. Die beiden Alternativen müssen sich in dem Sinne unterscheiden, dass durch die Wahl der einen oder der anderen Alternative das Ziel besser oder schlechter erreicht wird. Es ist kein Entscheidungsproblem, wenn durch zwei Alternativen das Ziel (Ergebnis) in gleicher Qualität erreicht wird (vgl. LAUX, 1998, S.4).

Bezüglich des Schwierigkeitsgrades lassen sich genau zwei Arten von Entscheidungsproblemen unterscheiden (siehe Abbildung 02). Die Art hängt ab von der Strukturierung des Problems. *Gut strukturierte Probleme* sind immer Wahlprobleme. Sie werden als *Einfache Entscheidungsprobleme* bezeichnet. Ist ein Problem *präzise* umschrieben, so dass ein analytisches Entscheidungsverfahren zu seiner Lösung eingesetzt werden kann, wird es als *strukturiert* bezeichnet.

Komplexe Entscheidungsprobleme hingegen sind immer *schlecht strukturierte Probleme*. Darum handelt es sich bei diesen vordergründig um Gestaltungsprobleme. Weitere Eigenschaften von komplexen Entscheidungsproblemen sind die gleichzeitige Verfolgung mehrerer Ziele, die zum Teil nur vage umschrieben sind und sich durch Widersprüchlichkeit auszeichnen. Die Folge ist, dass sich die Anzahl von für die Bewertung von Problemlösungsvarianten notwendigen Kriterien, welche miteinander verglichen werden müssen, erhöht. Ungünstig ist es zudem, wenn die Anzahl von Handlungsvariablen groß und in einer Vielzahl von Ausprägungen vorhanden ist. Dies führt „zu einer großen Zahl von denkbaren Problemlösungsvarianten“ (GRÜNIG, 2009, S.12). Entscheidend ist, dass der Entscheider eine geringe Anzahl klar von einander unterscheidbaren, jedoch den Lösungsraum abdeckenden, Variablen auswählt (vgl. GRÜNIG, 2009, S.12/13).

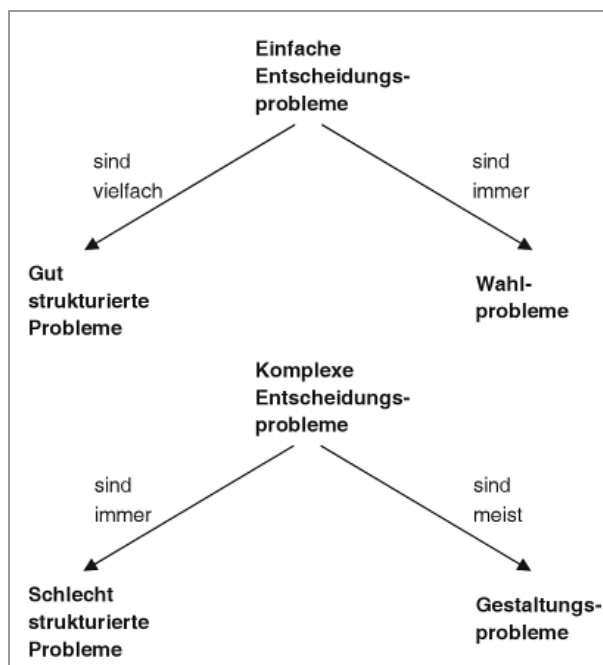


Abbildung 02: Arten von Entscheidungsproblemen

Quelle: GRÜNIG, 2009, S.15

3.3.2.1 Problemformulierungen

„Jede Problemformulierung, ob bewusst oder unbewusst, wirkt wie ein Filter, der bestimmte Handlungsalternativen ausschließt, während andere favorisiert werden“ (MEIXNER, 2010, S.79). Ebenso hängt von der richtigen Formulierung ab, welche Kriterien in ein Modell aufgenommen werden, oder welche Zielgrößen definiert werden. Außerdem hilft es wenig, wenn eine schlecht durchdachte Problemstellung

letztlich sehr gut gelöst wird. Dem vorzuziehen ist eine mäßige Lösung einer gut durchdachten Problemstellung (vgl. MEIXNER, 2010, S.79).

Vor der Problemformulierung wird der Entscheidungsprozess durch Symptome angeregt. Dies kann der Ausfall einer Maschine in einem produzierenden Unternehmen sein, die drohende Zahlungsunfähigkeit einer Bank oder die Wohnungsknappheit im Bereich der Stadtentwicklung.

Genau betrachtet ist die konkrete Formulierung des Entscheidungsproblems eine Frage der Zweckmäßigkeit. Die Formulierung an sich stellt selbst ein Entscheidungsproblem dar. Es ist daher notwendig sich weitere Informationen über die Besonderheiten der vorliegenden Situation zu beschaffen um die Problemformulierung zu schärfen (vgl. LAUX, 1998, S.8).

Eine Möglichkeit komplexe Probleme modellhafter oder handhabbarer zu machen ist die der *Abstraktion*. Sie führt zu einer Verringerung des Aufwands bei der Informationsbeschaffung und -aufbereitung. Sie hilft bei der Problemstrukturierung, macht ein Problem somit besser verständlich und vereinfacht die informationstechnische Erfassung. Mit der Problemstrukturierung beginnt die Strukturierung des Realproblems.

Neben der Abstraktion beschreibt SCHNEEWEIß die Möglichkeit einer *Relaxation*. Sie unterstützt die formale Handhabbarkeit eines Entscheidungsproblems. Sie bietet zwei Problem vereinfachende Arten der Strukturierung. Die Dekomposition - „Ein Problem wird zerlegt, um es leichter zu handhaben oder überhaupt erst einer formalen Lösung zugänglich zu machen“ (SCHNEEWEIß, 1992, S.64) - und die Hierarchisierung. Diese führt sukzessiv zu einer detaillierten hierarchischen Struktur des formalen Entscheidungsproblems. Oft werden beide Möglichkeiten simultan eingesetzt. Teilprobleme werden hierarchisch geplant. Die Dekomposition findet auf den einzelnen Hierarchieebenen statt (vgl. SCHNEEWEIß, 1992, S.61ff).

3.3.2.2 Formulierungshilfen

Im Folgenden werden Fragen angeführt, welche dem Entscheider helfen sollen ein Problem richtig zu formulieren (MEIXNER, 2010, S.80-82):

1. „Wie kann man das Beste aus einer Situation herausholen?“

Probleme sollen als Herausforderung gesehen werden. Auf keinen Fall soll überlegt werden warum das Problem nicht zu lösen ist. Diese Einstellung wird ein Scheitern zur Folge haben.

2. „Wer ist der Auslöser des Problems?“

Es ist möglich, dass vom Entscheider nur negative Emotionen mit der Problemstellung verbunden werden, da der Auslöser eine ihm mit negativen Gefühlen verbundene Person ist. Dies kann zur Folge haben, dass nur Schwierigkeiten und unüberwindliche Hindernisse in Bezug auf das Problem gesehen werden. Durch dieses *Bewusstwerden* kann eher eine Trennung von Emotionen und Problem erfolgen.

3. „Sind die Rahmenbedingungen, wie z. B. Ort-, und Zeitangaben, in der Problemformulierung gültig?“

Rahmenbedingungen sollen vollständig „in ihrer zeitlichen und räumlichen Gültigkeit erfasst und berücksichtigt werden“ (S.81).

4. „Wie sehen die wesentlichen, bestimmenden (objektiven und subjektiven) Elemente des Problems aus? Welcher Zeithorizont ist damit verbunden und welchen Instanzen (Personen, Abteilungen usw.) (...) kommt eine Schlüsselposition zu?“

Der Entscheider soll sich überlegen, welche Faktoren und Kriterien ein Problem beschreiben. Ist die Problemstellung kurz-, mittel-, oder langfristig? Wichtig ist es sich zu überlegen, wer die Verantwortlichen für die Entscheidungsfindung sind und wer von ihr betroffen sein wird.

5. „Welche Folge- oder Parallelentscheidungen hängen von diesem Problem ab?“

Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten, da vom Entscheider gefordert wird zukünftige Entwicklungen abzuschätzen. Es liegt in der Natur der Sache, dass dies nicht mit hundertprozentiger Sicherheit gelingen kann.

6. „Ist die Problemdefinition umsetzbar und ausreichend?“

Eine Problembeschreibung ist erst ausreichend, wenn alle bekannten und relevanten Fakten berücksichtigt worden sind. Dies bedeutet nicht, dass sie auch umsetzbar ist.

7. „Wie sehen andere das Problem?“

Sichtweisen von anderen Personen die über mehr Erfahrung und Ausbildung verfügen, führen zu neuen, vom Entscheider bisher nicht berücksichtigten Aspekten.

8. „Handelt es sich um ein Grundsatzproblem oder um einen Einzelfall?“

Ein Einzelfall, d. h. ein Problem, das so nur ein einziges Mal vorkommt, kann unter Umständen durch Improvisation gelöst werden. Ist eine Problemstellung aber die Regel

und wiederholt sich, sollte eine dauerhafte Lösung für die Entscheidungsfindung geschaffen werden. Es gilt dabei vor allem die Konsequenzen im Auge zu behalten. Verbesserungen oder nachträgliches Revidieren einer Entscheidung kosten Zeit und Aufwand.

Diese Fragen werden sich nicht für jede Problemstellung exakt so anwenden lassen. Es gilt zu beachten in welchem Umfeld Probleme auftreten und untersucht werden. Eine Entscheidung über die personelle Ausrichtung einer Firma wird anders behandelt werden, als die Suche nach dem Standort für ein neues Fußballstadion.

3.3.2.3 Arten von Entscheidungsproblemen

Bevor sich ein Entscheider für die Anwendung eines bestimmten Verfahrens entscheiden kann, muss er sich darüber im Klaren sein, welche(s) Ziel(e) er verfolgt und welche Art von Entscheidungsproblem daraus resultiert.

Merkmale nach denen sich Entscheidungsprobleme einteilen lassen richten sich nach den Charakteristika des Zielsystems. Entscheidend ist wie viele Personen von dem Entscheidungsproblem betroffen sind, wie groß die Anzahl der Ziele ist, wie hoch der Bestimmtheitsgrad ist und wie viele Kriterien zur Analyse herangezogen werden um eine Entscheidung zu treffen:

- Ein- oder Mehrpersonenentscheidungsprobleme: Zuordnung nach Anzahl der beteiligten Personen
- Ein- und Mehrzielprobleme: Zuordnung nach Anzahl der Ziele
- Entscheidungen unter Sicherheit, Risiko, Ungewissheit, Unschärfe: Zuordnung nach Bestimmtheitsgrad
- Einzel- oder Multikriterielle Entscheidungsprobleme: Zuordnung nach Anzahl der zu untersuchenden Bewertungskriterien

(vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.93), (vgl. EASTMAN, 1993, S.7).

3.3.3 Ziele

3.3.3.1 Begriff und Formulierung

Ein Ziel beschreibt die Vorstellung von einem gewünschten Zustand, den es entweder zu erhalten oder anzustreben gilt.

Eine Zielumschreibung sollte um vollständig zu sein, zumindest einige grundlegende Elemente umfassen (vgl. GRÜNIG, 2009, S.18):

- Inhaltliche Aussagen, die durch Zielvariablen ausgedrückt werden
- das angestrebte Ausmaß der Zielerreichung
- Angaben zur zeitlichen Gültigkeit
- Festlegung des Geltungsbereichs

Bevor eine Zieldefinition vorgenommen wird soll überlegt werden, welche Minimalanforderungen an die zu treffende Entscheidung zu stellen sind. Denn eine Entscheidung soll auf jeden Fall eine Verbesserung der derzeitigen Situation herbeiführen. Werden die definierten Minimalanforderungen (Zielgrößen) durch die gewählte Entscheidung nicht erfüllt, ist es besser auf eine Entscheidung zu verzichten, da diese normalerweise mit „Arbeit, Risiken und Schwierigkeiten verbunden“ ist (vgl. MALIK, 2000, S.215).

Zieldefinitionen und Ziele geben den Maßstab vor, welcher zur rationalen Beurteilung von Alternativen notwendig ist (vgl. MEIXNER, 2010, S.84). Sie beschreiben das angestrebte bzw. geforderte Ausmaß der Zielerreichung (vgl. GRÜNIG, 2009, S.17). Ziel einer präzisen Zielformulierung ist es „der Erforschung der Handlungsalternativen eine konkrete Richtung zu geben“ (LAUX, 1998, S.9).

Es existieren vier Schritte, welche den Weg zu solide formulierten Zielen aufzeigen (vgl. MEIXNER, 2010, S.86-89):

- Niederschrift aller, mit der Entscheidung in Zusammenhang stehenden Aspekte
- Umformulierung der Aspekte in konkrete Ziel
- Mittelziele sollen von den Endzielen getrennt werden
- Test der Ziele

3.3.3.2 Zielsysteme

Es kommt vor, dass es nicht nur ein Ziel gibt. In diesem Fall setzt sich das Zielsystem aus einer Kombination von Einzelzielen zusammen. Die darin enthaltenen Ziele können voneinander unabhängig sein, in Konkurrenz stehen oder sich komplementär zueinander verhalten.

An ein Zielsystem werden Anforderungen gestellt, welche drei Merkmale erfüllen sollen (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.57ff):

Operationalität: Operable Ziele sind für sich einzeln messbar sein (ordinal, kardinal). Sie entstehen durch Operationalisierung von allgemeinen Zielen. „Zielen müssen

Attribute (Kriterien) zugeordnet sein, die mindestens ordinales Meßniveau besitzen“ (SCHNEEWEIß, 1991, S.65).

Vollständigkeit: Im Zielsystem sollen nicht nur die positiven, sondern auch die negativen Aspekte (z. B. Nutzen und Kosten eines neuen Kopfbahnhofs) dargestellt werden. Dies gilt nicht für Teilsysteme. Stellt ein Teilsystem z. B. nur den Nutzen dar, ist dies akzeptabel.

Redundanzfreiheit: Ziele sollen unterschiedliche Aspekte beleuchten.

3.3.3.3 Zieloperationalisierung

Ein Zustandekommen eines Zielsystems hängt von der Durchführung der Zieloperationalisierung ab. Das Ergebnis einer Operationalisierung ist eine Zielhierarchie, welche aus Oberziel, Zwischenziel und Unterziel besteht. Zweck ist Komplementarität zwischen den Zielen. Im Gegensatz zu MEIXNER (2010, S.85) - fundamentale Ziele, abgeleitete Ziele - erweitert SCHNEEWEIß die Zielhierarchie um eine dritte Stufe, dem Zwischenziel (vgl. SCHNEEWEIß (1991, S.58/59).

Hier muss darauf hingewiesen werden, dass die Hierarchie theoretisch noch weiter abgestuft werden könnte. Dies führt jedoch zu einer Verkomplizierung, die vermieden werden sollte.

Nach HEINEN (1976, S.89) lässt sich in einem Zielsystem die Ordnung auf zwei Arten herstellen. Entweder durch Unterteilung in Subsysteme nach verschiedenen Kriterien oder durch systematische Erfassung der Beziehungen zwischen den Zielen, die nicht nur hierarchisch sondern auch vertikal erfolgen kann.

Sind mehrere Ziele vorhanden die zueinander in Beziehung stehen, wird von zwei Arten von *Zielbeziehungen* gesprochen (vgl. GRÜNIG, 2009. S.26):

- *vertikal*, nach einer Hierarchie (Ober-, Unter-, Zwischenziel) oder
- *horizontal*, innerhalb einer horizontalen Ebene (kompatible und konfliktäre Ziele)

Vertikale Abstufungen erfolgen etwa nach Zielprioritäten oder durch Unterscheidung des räumlichen Geltungsbereichs (z. B. Land, Stadt oder einzelne Stadtviertel). Eine Einteilung nach Zeitbezug ist ebenso möglich wie eine nach dem Ausmaß der Zielerreichung (Optimierungs- und Satisfizierungsziele) (vgl. GRÜNIG, 2009. S.22).

Des Weiteren gibt es *komplementäre* und *konkurrierende* Ziele. „Problematisch sind naturgemäß gegensätzliche Ziele. In der Entscheidungstheorie spricht man von

Zielkonflikten bei multikriteriellen Entscheidungsproblemen“ (MEIXNER, 2010, S.85). Ein typischer Zielkonflikt bei der Standortsuche einer Wohnung wäre, dass der Wohnungssuchende im Stadtzentrum und gleichzeitig *im Grünen* wohnen will. Ein Beispiel für komplementäre Zielsetzung wäre: Wohnen im Zentrum und sehr gute Anbindung an den Nahverkehr (vgl. MEIXNER, 2010, S.85).

Zielsysteme müssen einer Reihe von Anforderungen genügen, damit mit ihrer Hilfe eine plausible Bewertung und Wahl von Alternativen möglich ist. Dazu gehört das Aufstellen von klaren Vorschriften, anhand derer die Zielerreichung beurteilt werden kann (siehe Präferenzfunktion, Abschnitt 3.5.1).

3.4 Entscheidungsmodell

„Als „Entscheidungsmodell“ bezeichnen wir (...) ganz allgemein das Ergebnis eines Versuches, die für wesentlich gehaltenen Elemente und Beziehungen einer als „Problem“ empfundenen Handlungssituation in einer formalisierten Sprache so zu definieren, daß aus dem resultierenden Strukturkomplex die Problemlösung als logische Implikation abgeleitet werden kann“ (Beretzke, 1980, S.8).

Entscheidungsmodelle sind in erster Linie Entscheidungshilfen. Die von der *Deduktiven Forschung* innerhalb der *Präskriptiven Entscheidungstheorie* (siehe 3.1.4) entwickelten Modelle, können als *allgemeine Entscheidungsmodelle* bezeichnet werden. Durch sie werden allgemeine Rahmen für Entscheidungsmodelle geschaffen um bestimmte Typen von Entscheidungsproblemen und -situationen abzubilden und die Zuordnung von angemessenen Lösungsverfahren zu ermöglichen. Diese *allgemeinen Entscheidungsmodelle* beziehen sich nicht auf konkrete, genau nach Raum und Zeit spezifizierte Entscheidungssituationen.

Um spezifische Entscheidungssituationen analysieren bzw. lösen zu können, werden zunächst *allgemeine Entscheidungsmodelle* entwickelt und im nächsten Schritt auf *konkrete Entscheidungsmodelle* abgebildet, in welchen die Modellparameter durch das zu lösende *konkrete Entscheidungsproblem* festgelegt werden.

Mit Hilfe eines konkreten Entscheidungsmodells wird eine Lösung für ein konkretes Entscheidungsproblem gesucht. Die optimale Lösung entspricht der Auswahl der richtigen Handlungsalternativen. Dazu werden spezifische Rechentechniken benötigt (vgl. LAUX, 1998, S.16-18).

Ganz ähnlich beschreibt WEBER die Beschaffenheit von Entscheidungsmodellen. Nach seiner Aussage gibt es einfache Modelle, welche Input-/Outputbeziehungen darstellen

und es gibt komplexe Modelle, welche Erklärungen liefern, Prognosen zulassen und Entscheidungen möglich machen. Diese Entscheidungsmodelle sind entweder unikriteriell oder multikriteriell (vgl. WEBER, 1993, S.6ff).

Eine weitere Beschreibung für Entscheidungsmodelle findet sich bei HAX. Demnach zeichnen sich Entscheidungsmodelle dadurch aus, dass eine Beeinflussung des Vorgangs möglich ist und Wünsche und Zielvorstellungen bestehen über die Art und Weise wie ein Vorgang abläuft. Anhand eines Entscheidungsmodells soll bestimmt werden, wie man die Beeinflussungsmöglichkeiten am sinnvollsten einsetzt um einen Vorgang in die gewünschten Bahnen zu lenken (vgl. HAX, 1974, S.13).

3.4.1 Modellarten

Die Gesamtheit von Objekt- und Wertsystem wird als Entscheidungsmodell bezeichnet. Systemtechnisch betrachtet wird eine Aktion ausgewählt. Diese besteht aus einer Bedingung, einem Attribut, sowie einem Schwellwert. Das Ergebnis der Aktion wird durch ein Zielkriterium beurteilt (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.72).

Es gibt vier Arten von Modellen (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.74):

- Beschreibungsmodell: Bei diesem Modell wird nur das Objektsystem beschrieben und dient der Veranschaulichung eines Phänomens.
- Erklärungsmodell: So wird ein Beschreibungsmodell genannt, welches eine Erklärung des Sachverhalts erlaubt.
- Prognosemodell: Durch vorhandene Ausgangswerte sind Aussagen über zukünftiges Verhalten möglich.
- Entscheidungsmodell: Bei diesem Modell werden simultan und in gegenseitiger Abhängigkeit das Objekt- und das Wertsystem entwickelt.

3.4.2 Elemente im Entscheidungsmodell

Die Struktur von Entscheidungsmodellen besteht aus den zwei Basiselementen *Zielfunktion* und *Entscheidungsfeld*, wobei das Element *Entscheidungsfeld* in weitere Elemente unterteilt wird (vgl. LAUX, S.20).

- *Entscheidungsfeld*: (Handlungs-)Alternativen, Ergebnisse, Umweltzustände
- *Zielfunktion des Entscheiders*

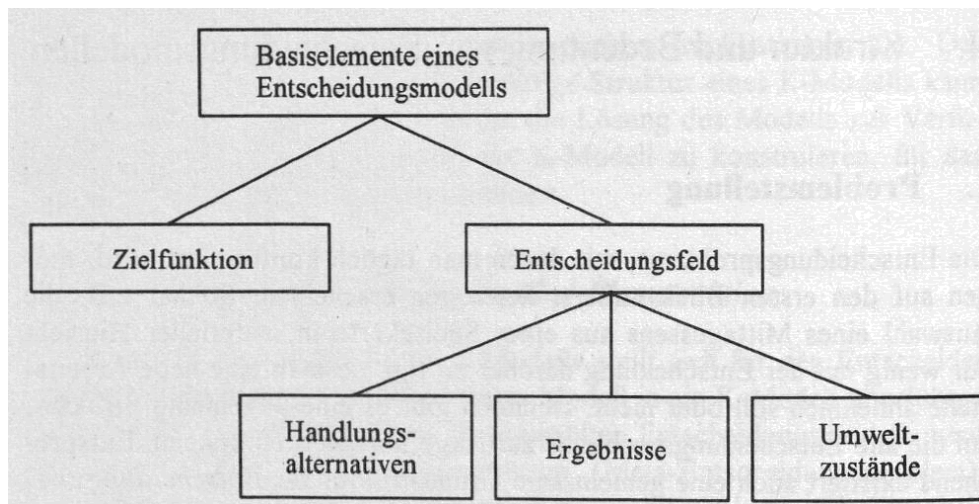


Abbildung 03: Basiselemente eines Entscheidungsmodells

Quelle: LAUX, 1998, S.20

3.4.3 Zielfunktion

Wie unter 3.2.1 beschrieben, werden Alternativen hinsichtlich ihrer Konsequenzen miteinander verglichen damit rationale Entscheidungen getroffen werden können. Um Konsequenzen bewerten zu können, ist es notwendig Zielvorstellungen über den Soll-Zustand ins Entscheidungsmodell einzubeziehen.

Zielvorstellungen beschreiben den Zustand, der nach Wahl einer Alternative eintreten soll. Um diese Vorstellungen in einem Entscheidungsmodell abbilden zu können, muss die Zielvorstellung als Zielfunktion formuliert werden. Anhand der Zielfunktion erfolgt die Bewertung der Alternativen bzw. ihrer Konsequenzen.

Eine Zielvorstellung wird durch eine Zielgröße oder durch ein Anspruchsniveau ausgedrückt. Beispielsweise kann es sich bei einer Zielgröße um eine in einer bestimmten Zeit zurückgelegte, genau festgelegte Strecke handeln. Durch Anspruchsniveaus erfolgt die Festlegung eines Zielkorridors. Folgende Typen von Zielvorstellungen werden in der Literatur genannt (vgl. LAUX, 1998, S.23/24):

- Fixierung: Als Zielgröße wird ein fixierter Wert angestrebt.
- Satisfizierung: Ein definiertes Anspruchsniveau wird angestrebt.
- Maximierung einer Zielgröße
- Minimierung einer Zielgröße

In Bezug auf die genannten Typen muss an dieser Stelle auf die *Anspruchsanpassungstheorie* verwiesen werden.

Die letzten beiden Punkte werden hier nur aus Gründen der Vollständigkeit aufgezählt. Diese beiden Zielvorstellungen werden so normalerweise nicht angestrebt. Nach der *Anspruchsanpassungstheorie* von Simon (1957) wird eine Entscheidungsfindung aufgrund von „Zeitaufwand, Arbeitsleid und Kosten“ nicht so lange fortgesetzt, bis die Maximierung einer Zielgröße gelungen ist. Deshalb wird eine Senkung des Anspruchsniveaus akzeptiert und dazu ein befriedigender Mindestwert festgelegt. Danach gilt eine Lösung schon als erfolgreich, „bei der die Zielgröße das Anspruchsniveau überschreitet oder gerade erreicht“ (LAUX, 1998, S.54). Statt Maximierung (Minimierung) ist der Anspruch die Satisfizierung. Dies erleichtert die Entscheidungsfindung und es ist sogar notwendig, dass das Anspruchsniveau, je nach Schwierigkeit eine befriedigende Handlungsalternative zu finden, gesenkt oder angehoben wird, um überhaupt eine Entscheidung treffen zu können.

„Im Extremfall können für alle Zielfunktionen Unter- und Obergrenzen vorgegeben werden und zur Festlegung eines praktischen Zielgebietes benutzt werden. Dieses sollte allerdings nicht so stringent definiert sein, daß die Generation zulässiger Lösungen vollständig verunmöglicht wird“ (EASTMAN, 1993, S.34). EASTMAN schließt sich SIMON und LAUX an. Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Definition von Anspruchsniveaus für das Zustandekommen einer Lösung von entscheidender Bedeutung ist (vgl. LAUX, 1998; EASTMAN, 1993).

3.4.4 Entscheidungsfeld

Wie aus Abbildung 03 (siehe 3.4.2) hervorgeht, ist neben der Zielfunktion das Entscheidungsfeld das zweite übergeordnete Basiselement in einem Entscheidungsmodell. Unterteilt wird dieses Basiselement in die drei Elemente *Handlungsalternativen, Ergebnisse und Umweltzustände*.

(Handlungs-)Alternativen werden durch Werte von Größen beschrieben, die vom Entscheider vorgegeben und variiert werden. Diese Größen werden als Entscheidungsvariable bezeichnet. Alternativen setzen sich in der Regel aus mehreren Einzelaktionen oder Einflussfaktoren zusammen. Für jede Alternative gibt es im Normalfall mehrere Entscheidungsvariablen, d. h. es muss für jeden Einflussfaktor eine Entscheidungsvariable bestimmt werden.

Für eine Beurteilung von Alternativen hat sich der Entscheider darüber Gedanken zu machen, welche Konsequenz(en) die Auswahl der ein oder der anderen Alternative bewirkt und hat diese in einem Modell abzubilden. Es ist dabei irrelevant, dass nicht

alle Konsequenzen (eine Alternative verursacht zum Teil mehrere) umfassend beschrieben werden können. „Für den Vergleich der zur Wahl stehenden Alternativen sind nur solche Größen als Konsequenzen relevant, deren Ausprägungen für die „Zufriedenheit“ des Entscheiders von Bedeutung sind“ (LAUX, 1998, S.21). Diese Größen werden als Zielgrößen (Zielvariablen) bezeichnet. Beispiel für eine Zielgröße und deren Konsequenz: Zielgröße = Erreichbarkeit; Ergebnis = Erreichbarkeit in zehn Minuten.

Zielgrößen bringen zum Ausdruck welche Präferenzen der Entscheider bezogen auf die Konsequenzen der Alternativen besitzt. Ebenso gibt es Konsequenzen, denen keine Zielgrößen entsprechen und somit nicht im Modell berücksichtigt werden müssen. Anders formuliert handelt es sich dabei um Konsequenzen, welche für die Wahlentscheidung einer Alternative als nicht bedeutend eingestuft werden.

Zielgrößen formieren sich zu einer Wertekonstellation für die in Abbildung 03 (3.4.2) der Begriff *Ergebnis* verwendet wird.

Es gibt zwei denkbare Wertekonstellationen. Bei der ersten Konstellation „orientiert sich der Entscheider nur an einer Zielgröße“, dabei steht jeder Wert einer Zielgröße für ein Ergebnis. Bei der zweiten Konstellation „orientiert er sich an mehr als einer Zielgröße“, dabei wird die Wertekonstellation durch eine Kombination von Zielgrößen beschrieben, die schließlich das Ergebnis repräsentiert (LAUX, 1998, S22).

Es gibt Parameter, welche ein Entscheider nicht beeinflussen kann, von denen jedoch abhängt welche Konsequenzen sich aus einer Alternativenwahl ergeben. Diese Parameter beeinflussen das Ergebnis, sind jedoch keine Entscheidungsvariablen des Entscheiders. LAUX (1998, S.22) bezeichnet diese als *entscheidungsrelevante Daten*. Ob Parameter zur Kategorie Entscheidungsvariablen oder zur Kategorie entscheidungsrelevante Daten gehören, hängt von der Situation ab.

Konstellationen von Ausprägungen entscheidungsrelevanter Daten werden als Umweltzustände bezeichnet. Im Sonderfall, dass nur ein Datum (Datensatz) vorliegt, entspricht jedes Datum einem Umweltzustand. Liegen mehrere Daten vor, entspricht jede Kombination (Wertkonstellation) dieser Daten einem Umweltzustand.

Die möglichen Umweltzustände müssen auf jeden Fall im Entscheidungsmodell Berücksichtigung finden. Der Entscheider hat die Erwartungsstruktur über die Zustände zu präzisieren. Dies geschieht subjektiv. Umweltzustände, das heißt auch ihre Konsequenzen auf das Ergebnis, können unter Sicherheit oder unter Unsicherheit

vorliegen (vgl. LAUX, 1998, S.20ff). Weitergehende Ausführungen zu dieser Thematik finden sich im Abschnitt 3.5.3.

3.5. Entscheidungskriterium

Nach HWANG and YOON (1981, in MALCZEWSKI, 1999, S.83) definiert sich ein Kriterium wie folgt:

„A *criterion* is a standard of judgment or a rule to test the desirability of alternative decisions.”

Ein Kriterium bildet die Bewertungsgrundlage, die sich aus der Präferenzfunktion und der Beschaffenheit der Attribute ergibt. In der Präferenzfunktion wird festgelegt welcher Beschaffenheit (beispielsweise Entfernung, Neigung) ein räumliches System (eine räumliche Einheit) entsprechen soll. Eine Zielvorstellung gibt also an, welche Merkmale für Attribute einer Untersuchungseinheit gelten sollen. Die Präferenzfunktion wird operabel, indem ihr ein oder mehrere Attribute angehängt werden. „Attribute sind von Menschen wahrgenommene oder gedachte Phänomene“ (WEBER, 1993, S.4), welche durch spezifische Merkmalsausprägungen konkretisiert und als Daten in qualitativer oder quantitativer Form erfasst werden (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.83, vgl. WEBER, 1993, S.4).

3.5.1. Präferenzfunktion und Entscheidungsregel

Besteht die Zielvorstellung nur aus einer Zielgröße oder einem Anspruchsniveau ist die Struktur der Zielvorstellung einfach zu beschreiben. Problematisch wird es, wenn die Zielvorstellung mehrere Zielgrößen beinhaltet. In so einem Fall werden die Struktur der Zielvorstellung und damit die Formulierung einer adäquaten Zielfunktion komplexer. Für diese Problematik gibt es Werkzeuge der *Präskriptiven Entscheidungstheorie*, auf die zurückgegriffen werden kann.

Entscheidungstheoretisch wird eine Zielfunktion als formale Darstellung einer Entscheidungsregel betrachtet. Diese Regel setzt sich aus den beiden Komponenten *Präferenzfunktion* und *Optimierungskriterium* zusammen.

In einer *Präferenzfunktion* werden für die einzelnen Alternativen *Präferenzwerte* festgelegt. Das *Optimierungskriterium* bringt zum Ausdruck welche Ausprägung für den *Präferenzwert* anvisiert wird.

Die Zielfunktion, welche bisher genau der Zielgröße entsprach, wird nach der Entscheidungstheorie für den Fall, dass mehrere Zielgrößen zu berücksichtigen sind, zur

Präferenzfunktion. Dazu wird ein Optimierungskriterium eingeführt und die Zielgröße als Präferenzgröße bezeichnet.

„Der einer Alternative entsprechende Präferenzwert kann als Indikator für den Grad der Zielerreichung interpretiert werden, der bei der Wahl dieser Alternative realisiert wird.“ (LAUX, 1998, S.25) Damit ist es anhand des erreichten Präferenzwerts möglich festzustellen, ob eine Zielvorstellung erfüllt wurde oder nicht. Als Typen der Optimierungskriterien stehen folgende zur Verfügung (vergleiche Typen der Zielvorstellungen unter 3.4.3):

- Fixierung: Anstreben einer fixierten Ausprägung für den Präferenzwert
- Satisfizierung: Anspruchsniveau für den Präferenzwert wird festgelegt
- Maximierung des Präferenzwerts
- Minimierung des Präferenzwerts

Das üblicherweise in der *Präskriptiven Entscheidungstheorie* unterstellte Optimierungskriterium ist die Maximierung. LAUX (1998, S.30) weist nach, dass eine Präferenzfunktion immer so definiert werden kann, dass eine Maximierung sinnvoll ist. Die Entscheidungsregel gibt in so einem Fall vor, dass diejenige Alternative ausgewählt wird, durch welche der höhere Präferenzwert erreicht wird (vgl. LAUX, 1998, S.25).

Entscheidungsregeln bestimmen welche Kriterien miteinander kombiniert und gewichtet werden um eine Bewertung von Alternativen zu ermöglichen. Die Bewertung erfolgt auf zwei Arten. Entweder im Sinne einer Klassifikation, bei der Alternativen anhand der individuellen Eigenschaften ihrer Kriterien bewertet werden oder im Sinne einer Auswahl, bei der eine Vielzahl von Eigenschaften unterschiedlicher Kriterien miteinander verglichen werden (vgl. EASTMAN, 1993, S.3).

3.5.2. Entscheidungsprinzip

Ein Entscheidungsprinzip gibt Richtlinien für die Ermittlung der Präferenzfunktion und somit für die Gestalt der Entscheidungsregel vor. Sie legt die Präferenzfunktion jedoch nicht eindeutig fest. Die Anzahl der Richtlinien bestimmt die Anzahl der möglichen Präferenzfunktionen zwischen denen frei entschieden werden kann. Je mehr Entscheidungsprinzipien es gibt, desto weniger Präferenzfunktionen stehen zur Auswahl. Durch die Entscheidungsprinzipien erfolgt eine Verringerung und damit eine Eingrenzung der Präferenzfunktion, wodurch wiederum die Auswahl erleichtert wird. Bestehen so viele Entscheidungsprinzipien, dass nur eine Präferenzfunktion übrig

bleibt, bilden die Entscheidungsprinzipien gemeinsam die Entscheidungsregel (vgl. LAUX, 1998, S.28).

3.5.3 Datenqualität und Fuzziness

Die Erfassung von Attributen kann durch Datenrecherche auf Grundlage von vorhandenem Datenmaterial oder durch zielgerichtete empirische Erfassung erfolgen. Entscheidend sind bei der Beurteilung der Qualität von erfassten Daten die *Operabilität*, der *Bestimmtheitsgrad*, der *Informationsgrad* und die *begriffliche Schärfe*.

Der Begriff Bestimmtheitsgrad sagt aus, ob ein Attributwert ausreichend erfasst ist. Es wird von Unbestimmtheit gesprochen, wenn es an Informationen über einen zu erfassenden Zustand (Attributsausprägung) oder an begrifflicher Schärfe mangelt (vgl. SCHNEEWEISS, 1991, S.34).

Der Informationsgrad sagt aus wie verlässlich vorliegende Messwerte oder Erhebungsdaten sind. Ihre Aussagekraft wird anhand der Begriffe Unsicherheit und Sicherheit beurteilt. Sicherheit bedeutet, dass die Ausprägungen von Attributen eindeutig sind. Dazu gehören alle deterministischen Attribute, welche mit einem eindeutigen Wert die Ausprägung einer Sache beschreiben. Beispiele hierfür sind die Klassifizierung als PKW oder Motorrad, die Zuordnung einer Farbe oder eines Preises.

Der Begriff der Unsicherheit wird auf ein Attribut angewendet, dessen Ausprägung selber nicht bekannt ist, jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass eine Ausprägung in einer bestimmten Form oder Intensität vorliegt, bekannt ist. Ein solches Attribut wird als *stochastisches Attribut* bezeichnet. Hierbei handelt es sich um eine Ausprägung unter Risiko. Der Extremfall ist eine Ausprägung, welche ungewiss ist. Allerdings liegt Ungewissheit in der Praxis selten vor. Wahrscheinlichkeiten lassen sich in der Regel immer berechnen (vgl. SCHNEEWEISS, 1991, S.35).

Ein weiterer Aspekt unter dem eine Menge von Informationen betrachtet werden sollte ist die Schärfe bzw. Unschärfe, welche in der Fachliteratur auch unter dem Begriff *Fuzziness* zu finden ist.

Fuzziness resultiert in erster Linie aus linguistischer Unschärfe. Dies ist der Fall, wenn Ausprägungen von Attributen nicht eindeutig durch einen Wert angegeben werden können. Beispielsweise kann nicht eindeutig definiert werden, dass starkes Fieber ab einer Temperatur von exakt 39°C vorliegt. Es ist nicht ausgeschlossen, dass es erst ab einer Temperatur von 39,3°C als stark bezeichnet werden kann.

Die verwendete Begrifflichkeit ist in solch einem Fall nicht klar genug. Die Fuzziness kann nicht durch Einholen weiterer Dateninformationen verringert werden. Eine Präzisierung kann jedoch durch Vergrößerung des Detaillierungsgrades (einer Skala) erfolgen. Dafür wird der Begriff Operationalisierung verwendet. Diese Vorgehensweise ist allerdings nicht immer möglich.

Jeder Datensatz der in Klassen eingeteilt wurde stellt uns vor das Problem der Unschärfe. Wann genau ist der Punkt erreicht, an dem beispielsweise eine Steigung als nicht steil und dann als steil oder sehr steil eingeordnet wird? Die Übergänge lassen sich mit Hilfe der *Fuzzy-Set-Theorie* (Unschärfe Mengenlehre) beschreiben. Die Theorie besagt, dass es durch linguistische Beschreibungen (stark, schwach, enorm u. a.) nicht sinnvoll möglich ist festzulegen, ab welchem Zahlenwert eine bestimmte Attributsausprägung beschrieben werden kann. Es muss daher eine Hilfsmenge gebildet werden. Bei Zahlenwerten, die nicht eindeutig in die Kategorien 0 und 1 oder ja und nein, etwa bei der Klassifizierung von Fieber (stark und schwach), eingeteilt werden können, legt man einen Übergangsbereich fest. Diese Zwischenwerte werden nicht mit 0 und 1, sondern beispielsweise in eine Skala von 0,1 bis 0,9 unterteilt. Somit kann die Wahrscheinlichkeit einer Attributsausprägung (Zustands) an die Ausprägungen 0 und 1 angenähert beschrieben werden.

Eine vollständige Beseitigung der Fuzziness ist weder durch das Einholen weiterer Dateninformation, noch durch eine Vergrößerung der Skala der Attributsausprägungen möglich. Sie kann nur abgemindert werden, wobei bei einer Vergrößerung der Nachteil einer Verringerung des Detaillierungsgrads in Kauf genommen werden muss (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.35ff, LAUX, 1998, S.20ff, ALTROCK, 1995, S.21, EASTMAN, 1993, S.6).

Empirische Fakten werden in drei Kategorien eingeteilt. *Harte Fakten* sind deterministische Fakten die keiner Unschärfe unterliegen. *Solide Fakten* sind stochastisch erfasst, also unscharf. Es sind genug Informationen vorhanden um die Wahrscheinlichkeit anzugeben. *Vage Fakten* bezeichnen Informationen die willkürlich, auf keiner logischen Grundlage basierend, erfasst werden. Sie sind höchst ungenau (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.39ff).

3.5.4 Attributsausprägungen und Messskalen

Die Ausprägungen von Attributen werden in Skalen beschrieben. Dafür müssen Messwerte auf geeignetem Skalenniveau (Messniveau) erfasst werden bzw. durch

Operationalisierung auf ein geeignetes Skalenniveau gebracht werden. Dabei wird zwischen nominalem, ordinalem und kardinalem Messniveau unterschieden.

In einer Nominalskala werden klassifikatorische Relationen ausgedrückt, welche oft binär sind. Eine Operationalisierung der Rohdaten bringt in so einem Fall keine neuen Erkenntnisse.

Durch eine ordinale Messskala werden Anordnungsrelationen von Attributsausprägungen dargestellt. Es handelt sich um eine Rangordnung, in der jeder Ausprägung ein Rang zugeordnet ist. Der Abstand zwischen den Ausprägungen wird nicht angegeben. Daher ist die Einstufung als qualitativ anzusehen. Es bestehen zwei Arten der ordinalen Messskala. Liegt der Rangordnung ein Ranking, also die Vergabe von Rangpunkten zugrunde, wird die Skala als streng ordinal angesehen. Erfolgt die Rangordnung durch ein Rating, also der Vergabe von Noten, wird sie als quasi-kardinal bezeichnet. Bei einem Rating werden die Attributsausprägungen in einem von ihnen unabhängigen Maßstab gemessen. Innerhalb einer auf einem Rating beruhenden Rangordnung herrscht Stabilität. Die Note einer Attributsausprägung bzw. einer Alternative wird durch Änderung einer anderen nicht beeinflusst.

Die kardinale Messskala enthält, neben der Angabe der Rangordnung, eine Aussage über die Abstände zwischen den Rangniveaus. Sie gibt es in drei Ausprägungen. Wertdifferenzen werden in einer Intervallskala ausgedrückt. Liegt der Skala keine Einheit zugrunde und der Nullpunkt ist definiert, so wird von einer Verhältnisskala gesprochen. Ist eine Skaleneinheit festgelegt, handelt es sich um eine absolute Skala (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.40ff).

3.6 Entscheidungsverfahren

„Unter einem Entscheidungsverfahren wird ein System von intersubjektiv nachvollziehbaren Regeln der Informationsbeschaffung und -verarbeitung verstanden, das zur Bewältigung einer bestimmten Art von Entscheidungsproblemen eingesetzt werden kann“ (GRÜNIG, 1990, S.44).

Bis es zu einer Entscheidungsfindung kommen kann, bedarf es eines Entscheidungsverfahrens, welches sich durch Nachvollziehbarkeit und festgelegten Regeln auszeichnet. Am Ende löst der Entscheider das Problem, indem er sich für diejenige Lösungsvariante entscheidet, die ihm für seine Zwecke optimal erscheint.

Ein Entscheidungsverfahren (System von Regeln) sollte die wesentlichen Teilaufgaben (Kreativitätstechniken) der Bewältigung eines Entscheidungsproblems abdecken. Diese Teilaufgaben sind die Folgenden (vgl. GRÜNIG, 1990, S.44):

- Entdeckung des Problems
- Analyse des Problems
- Erarbeitung von Varianten
- Bewertung von Varianten
- Aufzeigen der Gesamtkonsequenzen
- Entscheidung

3.6.1 Arten von Entscheidungsverfahren

Entscheidungsverfahren wurden dazu entwickelt Entscheider bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Von der Wissenschaft wurden allgemeine und spezielle Verfahren entwickelt. Erstere sind für *allgemeine Entscheidungsprobleme* anwendbar, letztere werden bei *enger umschriebenen Problemstellungen* eingesetzt. Die Anwendung eines Entscheidungsverfahrens kann an restriktive formale Bedingungen geknüpft sein. Diese Bedingungen werden teils explizit, teils implizit genannt und führen zu Einschränkungen bei der Verfahrensanwendung. So führt beispielsweise die formale Bedingung, nur quantifizierbare Variablen und Kriterien für die Entscheidung zuzulassen und qualitative Faktoren auszuschließen, zu einer Einschränkung.

Die Auswahl des Entscheidungsverfahrens hängt davon ab welche Lösungsausprägung angestrebt wird. Sucht ein Entscheider die optimale Lösung oder nur die Satisfizierende? Diese Ausführungen führen nach GRÜNIG (2009) zu drei Ausprägungen bei den Lösungsverfahren:

- Allgemeine Entscheidungsverfahren
- Entscheidungsverfahren mit restriktiven formalen Anwendungsbedingungen
- Entscheidungsverfahren, die eine optimale Problemlösung anstreben

3.6.2 Heuristische Entscheidungsverfahren

Das Wort *heuristisch* kommt aus dem Altgriechischen und bedeutet soviel wie *zum Finden geeignet*. Mit einem heuristischen Denkansatz lässt sich der Aufwand zum Finden einer Lösung bei komplexen Problemen reduzieren. Es wird bei solch einem Ansatz nicht die optimale Lösung angestrebt. Was fehlt, ist eine Lösungsgarantie und

somit die Garantie den optimalen Lösungsweg zu finden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt im geringeren Lösungsaufwand, da weitestgehend formale Anwendungsbedingungen fehlen (vgl. GRÜNIG, 2009, S. 54ff).

3.6.3 Analytische Entscheidungsverfahren

Für analytische Entscheidungsverfahren bestehen (restriktive) formale Anwendungsbedingungen. Der Lösungsaufwand ist relativ groß. Dies liegt darin begründet, dass die optimale Lösung angestrebt wird.

Unter folgenden Voraussetzungen ist ein analytisches Entscheidungsverfahren anzuwenden (vgl. GRÜNIG, 2009, S. 54ff):

- Die Problemstellung umfasst nur quantitative Aspekte.
- Es bestehen klare Regeln nach denen entschieden werden kann, ob eine erarbeitete Lösung annehmbar ist.
- Ein anwendbares analytisches Verfahren besteht oder kann entwickelt werden.
- Ein analytisches Entscheidungsverfahren kommt nur in Frage, wenn es wohl strukturiert ist, ansonsten steht nur ein heuristisches Entscheidungsverfahren zur Verfügung.

3.7 Räumliche Multikriterielle Entscheidungssysteme

Konventionelle Techniken der *multikriteriellen Entscheidungsfindung* wurden in der Annahme als nichträumlich konzipiert, dass es ausreichend wäre, wenn räumliche Homogenität für das Untersuchungsgebiet unterstellt würde. Tatsächlich ist es notwendig die räumliche Dimension explizit zu berücksichtigen.

“It is estimated that 80% of data used by managers and decision makers is related geographically“ (WORALL, 1991, in MALCZEWSKI, 1999, S.3).

Die Tatsache, dass fast 80% aller Informationen einen Raumbezug besitzen macht deutlich, dass *Multikriterielle Entscheidungsverfahren* ohne die Berücksichtigung der räumlichen Komponente wenig Sinn machen würden. Daher wurden räumliche Multikriterielle Entscheidungssysteme (Spatial Multicriterial Decision Systems SMCDs) entwickelt.

Entscheidungsprobleme sind in erster Linie räumliche Entscheidungsprobleme (spatial decision problems). Der überwiegende Teil der Informationen können einem Ort oder einer Adresse zugeordnet werden. Daraus ergibt sich ihre Zuordnung zu geographischen

Objekten, weshalb sie als räumliche oder georeferenzierte Informationen bezeichnet werden. Die Informationen können Ergebnisse aus Untersuchungen und Beobachtungen sein, in Form von Luft- und Satellitenbildern oder in Form von Tabellen aus statistischen Erhebungen vorliegen sowie aus weiteren Quellen stammen.

„Geographical or spatial data are defined as undigested, unorganized, and unevaluated material that can be associated with a location. Data are of little value in and of themselves. To be useful, they must be transformed into information” (MALCZEWSKI, 1999, S.3).

Die Aufbereitung von Daten zu Informationen erfolgt durch Organisation, Präsentation, Analyse und Interpretation. Erst wenn die Daten als nützlich für die Lösung eines Entscheidungsproblems angesehen werden können darf der Begriff Information verwendet werden. Entscheidungsprobleme, deren Lösungen durch Betrachtung geographischer Daten und Informationen angestrebt werden, werden als räumliche Entscheidungsprobleme (geographical or spatial decision problems) bezeichnet (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.3).

3.7.1 Prozesssystem bei multikriteriellen Entscheidungen

Um einen Entscheidungsprozess bei *multikriteriellen Entscheidungen* durchführen zu können sind drei Systeme notwendig, welche ineinander greifen. Diese sind nach MALCZEWSKI (1999, S.81):

- Personalsystem (Entscheider, Experten, Berater)
- Datenverarbeitungs-/Informationssystem (Erfassung und Aufbereitung von Grunddaten, Einsatz von Softwarepaketen für *multikriterielle Entscheidungen*)
- Kommunikationssystem (Ergebnisaufbereitung)

3.7.2 Komponenten der Multikriteriellen Entscheidungsfindung

Für die *Multikriterielle Entscheidungsfindung (Multicriteria Decision Making - MCDM)* werden Alternativen aufgestellt, welche auf der Basis von Kriterien, die teilweise zueinander in Konflikt stehen oder sogar unvereinbar sind, bewertet werden. Ein Kriterium ist eine Bedingung, die sich aus den Vorgaben von Zielen und Attributen zusammensetzt (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.81) (siehe auch Abschnitt 3.5).

MALCZEWSKI (1999, S.82) stellt sechs Komponenten der *Multikriteriellen Entscheidungsfindung* vor, welche er in seiner Arbeit unter Angabe einer Reihe von

Autoren (KENNEY and RAIFFA, 1976; SAATY, 1980; CHANKONG and HAIMES, 1983; KLEINDORFER et al., 1993) wie folgt benennt:

- Ziel(e) des Entscheiders (oder der Gruppe von Entscheidern)
- Entscheider oder Gruppe von Entscheidern mit ihren Präferenzen, bezogen auf die Bewertungskriterien
- Bewertungskriterien (Attribute und Ziele)
- Handlungsalternativen (decision alternatives)
- „unbeherrschbare“ Variablen (Umweltzustände)
- Ergebnis (Konsequenzen, die sich aus der gewählten Alternativen-Attribut Kombination ergeben)

(siehe auch: Abschnitt 3.4.2 - Elemente im Entscheidungsmodell)

3.7.3 Kategorien der Multikriteriellen Entscheidungsfindung (MCDM)

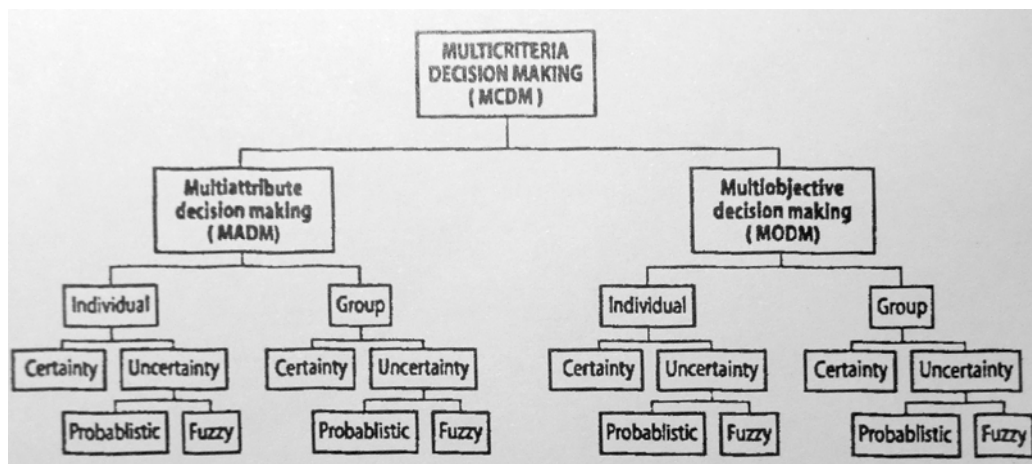


Abbildung 04: Dichotomie von Multicriteria Decision Problems

Quelle: MALCZEWSKI, 1999, S.84

Die *Multikriterielle Entscheidungsfindung* lässt sich in zwei Oberkategorien einteilen:

- *Multiojektive Entscheidungsfindung* (Multiojektive Decision Making, MODM)
- *Multiattributive Entscheidungsfindung* (Multiattribute Decision Making, MADM)

Unterkategorien teilen die beiden in die Bereiche:

- Einzelentscheidungsproblem (Single Decision Maker Problem) und

- Gruppenentscheidungsproblem (Group Decision Maker Problem)

Die getroffenen Entscheidungen werden entweder unter Sicherheit (Certainty) oder unter Unsicherheit (Uncertainty) getroffen, wobei bei der Kategorie Unsicherheit eine weitere Unterscheidung vorgenommen wird (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.84ff):

- Deterministischen Entscheidungen: Entscheidung unter Sicherheit (Daten und Informationen); die Konsequenz einer gewählten Alternative ist bekannt.
- Entscheidungen nach Wahrscheinlichkeit (Probabilistic): Entscheidung unter Unsicherheit; Unsicherheit in Bezug auf die Umwelt des Problems (Umweltzustände) und die Wechselwirkung zwischen Alternative und ihrer Konsequenz.
- Entscheidungen aufgrund Unschärfe (Fuzziness): Ungenauigkeit in den vorliegenden Informationen bezogen auf die Datenqualität, aber auch auf die Begrifflichkeiten.

(siehe auch: Abschnitt 3.5.2 - Datenqualität und Fuzziness)

3.7.4 Multiobjektive und multiattributive Entscheidungsprobleme

Attribute sind messbare Quantitäten und Qualitäten von geographischen Entitäten oder Relationen zwischen diesen Entitäten. Sie drücken die Eigenschaften und Relationen (Beziehungen) von realen Objekten (untereinander) aus. Die Entitäten bilden zusammen mit den Relationen die Objekte des Entscheidungsproblems.

Um zu verstehen, wie aus einem *multiobjektiven*- (MODM) ein *multiattributives Entscheidungsproblem* (MADM) wird, muss zunächst eine Betrachtung des *multiobjektiven Entscheidungsproblems* erfolgen. Die Problemstellung verlangt hierbei eine Analyse (means-ends-analysis) der sich ergebenden Konsequenzen. Speziell bei der Betrachtung der sich ergebenden Relationen von Attributen der Alternativen zu den Zielen muss darauf geachtet werden, welche in der Hierarchie höher gestellt sind. Nach dem multikriteriellen Denkansatz ist dazu die Beschreibung der Alternativen notwendig. Das Ziel besteht darin diejenige unter diesen Alternativen (und damit den Attributen) zu finden, welche die Zielfunktion optimal erfüllt.

Um eine *multiobjektive Entscheidungsfindung* durchzuführen muss ein Rahmen für die Ermittlung der Alternativenmenge vorgegeben werden. Jede Alternative wird eindeutig durch die Menge der Entscheidungsvariablen festgelegt und anhand des

Erreichungsgrads der Zielfunktion bewertet. Die Eignung der Alternativen ergibt sich aus dem gebildeten Mittelwert der möglichen Erreichungsgrade der Zielfunktion.

Besteht ein direkter Zusammenhang zwischen den Attributen und den Zielgrößen wird aus einem *multiobjektiven Entscheidungsproblem* ein *multiattributives Entscheidungsproblem*. Entspricht die Zielfunktion einem Wert eines Attributs, hat dies zur Folge, dass eine Alternative nicht mehr nach dem Erreichungsgrad der Zielfunktion, sondern nach dem Wert des Attributs getroffen wird.

„If there is a direct correspondence between attributes and objectives, the multiobjective problem becomes a multiattributive decision problem” (Malczewski, 1999, S.86).

Die Lösung eines *multiattributiven Entscheidungsproblems* erfordert eine Wahl zwischen Alternativen, welche durch ihre Attribute beschrieben werden. Da in diesem Fall die Attribute sowohl als Ziel- wie auch als Entscheidungsvariablen fungieren, entsprechen hier die Attribute den Entscheidungskriterien. Dies muss bei der Definition der Relationen zwischen den Attributen und den Zielgrößen berücksichtigt werden.

Ein *multiattributives Entscheidungsproblem* lässt sich durch folgende Eigenschaften beschreiben. Präferenzen werden in Form von Zielfunktionen und Gewichten für die Werte der Attribute ausgedrückt. Die Anzahl der Alternativen ist eingeschränkt. Es handelt sich um einen reinen Auswahlprozess, nicht um einen Designprozess. Daher wird dieser Prozess als *diskretes Entscheidungsproblem* (discrete decision problem) bezeichnet.

Dem gegenüber steht das *multiobjektive Entscheidungsproblem*, welches ein *kontinuierliches Entscheidungsproblem* (continuous decision problem) darstellt. Es stellt insofern ein Kontinuum dar, dass sich die optimale Lösung unter den zur Verfügung stehenden Lösungen befinden muss. Die Anzahl der Lösungen ist jedoch praktisch unendlich. Präferenzen werden hierbei durch die Festlegungen von Rangfolgen für die Zielfunktion bestimmt. Ein Attribut ist konkret. Es stellt eine genau beschreibbare Variable dar. Ein Ziel hingegen ist abstrakter, da es nur im Zusammenhang mit einer *relativen* Zielvorstellung vorkommen kann (vgl. Malczewski, 1999, S.85/86).

Beim *multiobjektiven Ansatz* zur Anwendung bei *multikriteriellen Entscheidungsverfahren* sind mehrere Ziele vorgegeben, die unter Beachtung klar definierter Restriktionen anzustreben sind. Durch multiobjektive Methoden werden Lösungen für quantifizierbare Ziele erarbeitet, welche teilweise konfliktär zueinander

stehen. Unter Beachtung von vorgegebenen Restriktionen soll die bestmögliche Lösung gefunden werden (vgl. WEBER, 1993, S.11).

An dieser Stelle sollen zwei der meist verbreiteten Verfahrensweisen der *multiobjektiven Entscheidungsfindung* genannt werden. Es handelt sich um das *Global Programming* ohne Zielpräferenzartikulation und um das *Goal Programming* mit Zielpräferenzartikulation. Während beim *Global Programming* versucht wird mehrere Zielfunktionen gleichzeitig zu maximieren, wird beim *Goal Programming* darauf Wert gelegt vorgegebene Zielvorgaben möglichst genau einzuhalten, also „eine satisfizierende Erreichung vom Entscheidungsträger fest vorgegebener Ziele“ zu erreichen (WEBER, 1993, S.15). Beide Verfahren werden in weitere Unterformen unterteilt. Da diese jedoch nicht Inhalt dieser Arbeit sind, wird an dieser Stelle auf weitere Ausführungen zu diesen multiobjektiven Verfahren verzichtet (vgl. WEBER, 1993, S.30ff).

3.7.5 Einzel-Entscheidungsproblem und Mehrpersonen-Entscheidungsproblem

Ob ein Problem als individuelles Problem (individual decision maker problem) oder als Gruppenentscheidungsproblem (group decision problem) bezeichnet wird, hängt von der Struktur der Zielpräferenz des Entscheiders ab. Handelt es sich um ein Einzelpräferenzsystem, wird von einem individuellen Entscheidungsproblem gesprochen, ganz egal wie viele Personen an der Entscheidung beteiligt sind. Als Gruppenentscheidungsfindung wird der Prozess bezeichnet, wenn Entscheider (Individuen, Gruppen) jeweils an verschiedenen Zielpräferenzsystemen arbeiten, welche letztendlich aber einem Oberziel untergeordnet sind (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.84/85).

3.7.6 Methodik der räumlichen Multikriteriellen Entscheidungsfindung

Der Entscheidungsprozess bei der räumlichen multikriteriellen Entscheidungsfindung (spatial multicriterial decision making) umfasst drei Arbeitsphasen. In der ersten Phase erfolgt die Definition und Zusammenstellung von Entscheidungsalternativen (Handlungsalternativen). In der zweiten Phase erfolgt eine multikriteriell ausgerichtete Analyse der Entscheidungsalternativen. Diese Analyse kann multiobjektiv (mehrere Ziele) oder multiattributiv (mehrere zu berücksichtigende Attribute/decision variables) durchgeführt werden. In der dritten Phase werden die Entscheidungsalternativen durch den Entscheider selektiert und die Resultate der zweiten Phase differenziert evaluiert (vgl. WEBER, 1993, S.2).

MALCZEWSKI bezeichnet diese drei Phasen als die *Intelligence Phase*, die *Design Phase* und die *Choice Phase*.

In der *Intelligence Phase* befasst sich der Entscheider mit der Problemstellung. Er macht sich die Problemsituation bewusst und definiert das Entscheidungsproblem. Er erforscht welche Bewertungskriterien bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden sollen. Er überlegt sich Bewertungsmerkmale (Attribute bzw. decision variables) mit deren Hilfe sich die Kriterien bewerten lassen. Diese Attribute setzen sich aus Faktoren und Bedingungen (Einschränkungen, Restriktionen) zusammen, welche in der englischsprachigen Literatur als *factors* und *constraints* bezeichnet werden (vgl. MALCZEWSKI, 1993, S.95ff).

Ein *factor* ist ein Kriterium, das Auskunft darüber gibt, ob eine Alternative mehr oder minder für ein bestimmtes Ziel geeignet ist.

Bei einem *constraint* handelt es sich um ein Kriterium, welches als Ausschlusskriterium bezeichnet werden kann. Durch *constraints* werden Restriktionen durch einen bestimmten Grenzwert definiert. Wird dieser über- oder unterschritten, je nach Problemstellung, kommt es zum Ausschluss der Alternative(n) (vgl. EASTMAN, 1993, S.1).

In der *Design Phase* findet die Abbildung des Entscheidungsproblems auf das Entscheidungsmodell statt. Entscheidend ist dabei, dass sich die Präferenzen des Entscheiders in Bezug auf die Bewertungskriterien im Entscheidungsmodell wiederfinden. Die Berücksichtigung der Präferenzen wird durch Gewichtung der Bewertungskriterien bewerkstelligt (vgl. MALCZEWSKI, 1993, S.95ff).

Der nächste Schritt in der Design Phase ist die Aufstellung von Entscheidungsregeln (Decision Rules). Sie bestimmen wie die Variablen der einzelnen Bewertungskriterien kombiniert und gewichtet werden. Entscheidungsregeln legen fest, wie die Bewertungskriterien in einen gemeinsamen Bewertungsindex überführt werden. Für diesen Index werden die Bewertungen der einzelnen Kriterien aggregiert und nach einem festgelegten Schlüssel eingeordnet (Ranking). Entscheidungsregeln werden daher als Aggregationsfunktion bezeichnet (vgl. MALCZEWSKI, 1993, S.95ff; EASTMAN, 1993, S.3).

In der *Choice Phase* erfolgt die Betrachtung und Bewertung der durch die Entscheidungsregeln bedingten Resultate der Analyse. Das Resultat einer Analyse ist bei *multikriteriellen Entscheidungsproblemen* eine Rangfolge von Alternativen. Um zu

kontrollieren wie robust die Rangfolge ist wird eine *Sensitivitätsanalyse* (siehe 3.11.1) durchgeführt. Dazu werden die zugrunde liegenden Inputs (geographische Objekte und Zielpräferenzen) verändert und geprüft wie signifikant sich die Rangfolge der Alternativen ändert. Je geringer die Auswirkungen auf das Analyseresultat ausfallen, desto robuster ist die Rangfolge anzusehen.

Treten jedoch größere Veränderungen in der Rangfolge auf, ist es ratsam in die *Intelligent Phase* zurückzukehren und die Formulierung des Entscheidungsproblems zu prüfen, zu modifizieren und den gesamten Analyseprozess erneut durchzuführen. Die *Sensitivitätsanalyse* ist mehr als ein letzter Analyseschritt. Sie stellt einen Erkundungsprozess dar, der dem Entscheider hilft seine Kenntnis über die Struktur des Entscheidungsproblems zu verbessern und zu begreifen, wie die einzelnen Elemente des Entscheidungsprozesses interagieren (vgl. MALCZEWSKI, 1993, S.95ff).

3.8 GI Systeme als räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (Spatial Decision Support Systems)

Das Anliegen der subjektiven Entscheidungsfindung (Teil der Präskriptiven Entscheidungstheorie) ist es dem Entscheider zu helfen seine Gedanken zu ordnen, konsistente Urteile/Bewertungen zu treffen und rational zu entscheiden. Für die technische Umsetzung wurden Anwendungen innerhalb von Geographischen Informationssystemen (GI Systeme) entwickelt.

GI Systeme eignen sich zur Bearbeitung von Bewertungsaufgaben, weil sie Grundanforderungen an die EDV erfüllen. Diese Grundanforderungen umfassen das Verarbeiten von umfangreichen Datenmengen sowie die Möglichkeit verschiedene Szenarien zu analysieren, die Möglichkeit Ergebnisse umgehend zu präsentieren und generell die raumbezogene Daten zu verarbeiten. GI Systeme, die diesen Anforderungen gerecht werden, werden als Entscheidungsunterstützungssysteme bezeichnet.

Bisher findet der Einsatz hauptsächlich in den Bereichen des Land- oder Umweltmanagements Anwendung. Was das Entwickeln und Umsetzen von methodischen Ansätzen für die Entscheidungsfindung bei der Analyse von *multikriteriellen- und multiobjektiven Entscheidungsproblemen* angeht, befinden sich die Anwender der GI Systeme in einer fortwährenden Entwicklungsphase. Heute setzt sich die Erkenntnis durch, dass solche Techniken für ein breites Spektrum von Entscheidern nützlich sein können.

Die Einsatzbereiche von GI Systemen können grob in zwei Kategorien eingeteilt werden. Auf der einen Seite, als Vorstufe der Planung, die Bereitstellung von Geoinformation und raumbezogenen Analyseergebnissen. Auf der anderen Seite „durch direkte Entscheidungsunterstützung mit Hilfe der Methoden des „Decision Support“ (SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.57), also durch Anwendung von Optimierungs- und Bewertungsmethoden (vgl. SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.57ff; EASTMAN, 1993, Preface).

3.8.1 Geographische Informationssysteme in der raumbezogenen Planung

Computer und damit GIS Funktionalitäten stießen in ihrer rudimentären Form erst ab den 70er Jahren als technisches Hilfsmittel bei der raumbezogenen Planung auf Interesse. Zu dieser Zeit stellten die Technologieunternehmen erstmals nennenswerte Verarbeitungskapazitäten für einen erweiterten Nutzerkreis zur Verfügung. In den 80er Jahren wurden erste Versuche mit Optimierungsmodellen für die Stadtstrukturierung und bei der Flächennutzung durchgeführt. Diese Phase wurde begleitet von einer „EDV-Euphorie“ (SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.55) als Folge der Akzeptanz und Verbreitung „vor allem in den Vereinigten Staaten“. Nachdem es rechnergestützte Ansätze geschafft hatten traditionelle Ansätze in den Schatten zu stellen, wurden neue Konzepte und Visionen entwickelt. Dies führte zunächst jedoch zu „blinder Akzeptanz“ von Ergebnissen. Viele Ansätze scheiterten aufgrund von Problemen bei der Datenbeschaffung und aufgrund „methodischer Schwächen“. Dies wiederum führte zu gründlicheren Vorgehensweisen, weshalb nun „die in den vorherigen Phasen nicht geführte Methodendiskussion über den Einsatz von Simulations-, Bewertungs-, Entscheidungs- und anderen quantitativen Modellen nun nachgeholt wird“ (SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.56).

Seit Mitte der 80er Jahre ist eine generelle Professionalisierung zu beobachten. Seitdem ist die Anzahl verfügbarer GI Systeme gestiegen. Sie sind heute nicht mehr auf Datenerfassung und Datenhaltung beschränkt, sondern erlauben Analysen und hochwertige kartographische Darstellungen und Präsentationen. Aufgrund dieser Entwicklung ist der Einsatz von GI Systemen bei den sich mit raumbezogener Planung Befassenden im Prinzip Standard geworden (vgl. SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.56-57).

3.8.2 Grundfunktionen von Geographischen Informationssystemen

Die Grundfunktion eines jeden GI Systems ist die Handhabung von Geodaten. Der Entscheider muss sich überlegen welche Daten er benötigt und wie bzw. wo er sie bekommt. Um aus den Daten Informationen machen zu können muss ein Anwender verschiedene Aufgaben erledigen: Datenerfassung, Datenverarbeitung, Analyse und Dokumentation. Daten werden in den verschiedensten Datenformaten erstellt, weshalb es von Vorteil ist, wenn ein GI System eine große Bandbreite von Formaten integrieren kann.

Geodaten werden auf vielfältige Art und Weise erfasst und bereitgestellt. Hier einige typische Datenquellen:

- Digitalisieren: Analoge Daten werden in digitale Form überführt.
- Scanning: Erfassung von Raster- oder flächendeckenden Messpunkten durch terrestrisches oder flugzeuggestütztes Laserscanning.
- Fernerkundung: Erfassung der Erdoberfläche durch Befliegungen (Luftbildkamera) oder durch Satellitenbilderfassung (elektromagnetische Erfassungsmethoden, Radar). Haupteinsatzbereich ist die Klassifikation von Landschaften.
- Global Positioning Systems (GPS): Satellitengestützte Koordinatenbestimmung. Mittlerweile mit kleinsten Empfängern möglich (Mobiltelefon). Hauptanwendungsgebiet ist die Navigation.
- Internet: Unternehmen und Organisationen, jedoch überwiegend Behörden erfassen und bereiten Daten auf und stellen diese online zur Verfügung. Derzeit gibt es in der EU (Europäischen Union) die Bestrebung den internetbasierten Datenverkehr in geordnete Bahnen zu lenken. Dazu wurde das Projekt INSPIRE ins Leben gerufen, dessen vorrangiges Ziel es ist eine Standardisierung von Datenformaten und Datenaustauschformaten zu erreichen. Dadurch soll der Datenaustausch und die verteilte Datennutzung erleichtert werden.

GI Systeme können zur Kartenerstellung eingesetzt werden. Ihre Stärke liegt jedoch bei der Integration und Verwaltung von Daten aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen und Lebensbereichen. So können beispielsweise Vegetationsdaten mit Infrastruktur in Zusammenhang gesetzt oder Bevölkerungsdaten mit sozioökonomischen Faktoren in Relation gebracht werden. Wie die Verarbeitung und die Vorhaltung von Daten in GI Systemen explizit vonstatten gehen wird in der einschlägigen Literatur u. a. bei

MALCZEWSKI ausführlich behandelt, weshalb hier auf weitere Ausführungen verzichtet wird (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.16ff).

3.8.3 Raster- und Vektordaten in Geographischen Informationssystemen

Daten in einem GI System werden entweder in Rasterform oder in Vektorform vorgehalten. Rasterdaten werden durch zweidimensionale Matrizen dargestellt, deren Zellen als Pixel bezeichnet werden und die homogen in Bezug auf ihre Größe sind.

Daten im Vektorformat umfassen Objekte wie Punkte, Linien und geschlossene Flächenpolygone. Die Darstellung erfolgt in Form von Koordinaten, meist zweidimensional, bei Bedarf auch dreidimensional. Zu jeder Koordinate können in einer Datenbank Attribute angehängt werden, dasselbe gilt im Übrigen auch für Rasterzellen bei denen der Raumbezug ebenfalls über Koordinaten hergestellt wird.

Die Vorteile von Rasterdaten zeigen sich bei der Darstellung von sich kontinuierlich ändernden Phänomenen, wie beispielsweise der Temperatur oder der Niederschlagsmenge. Übergänge und ortsabhängige Veränderungen können anschaulicher in der Rasterform dargestellt werden als mit Vektordaten. Rasterdaten entstehen typischerweise bei der Erdbeobachtung durch Satelliten und andere Flugobjekte. Die Vorteile von Vektordaten liegen in der höheren Genauigkeit. Sie eignen sich besser zur Analyse von topologischen Zusammenhängen und es ist deutlich weniger Speicherkapazität notwendig, wodurch die Handhabung erleichtert wird.

Bei der Arbeit mit Rasterdaten zeigen sich einige Nachteile. Bei der Kombination von Datenrastern muss die Zellgröße stets gleich sein. Der am schlechtesten aufgelöste Datensatz bestimmt die erreichbare Genauigkeit einer Analyse. Rasterdaten benötigen enormen Speicherplatz und hohe Rechenkapazitäten, weshalb für Analysen und Berechnungen im Vergleich mit Vektordaten ein größerer Zeitaufwand kalkuliert werden muss. Dies gilt speziell für hoch aufgelöste Daten, weshalb die Genauigkeit von Rasterdaten aus rechen- und speichertechnischen Gründen unter der von Vektordaten liegt. MALCZEWSKI verweist auf MAGUIRE (1994), der für die Analyse von Umweltzusammenhängen die Verwendung von Rasterdaten empfiehlt und für Untersuchungen im Bereich der Sozioökonomie Vektordaten.

Folgendes lässt sich in Bezug auf die Datenhaltung festhalten:

- Die Rasterbasierte Analyse eignet sich für räumlich kontinuierlich verteilte Merkmale und Kriterien.

- Die Vektorbasierte Analyse eignet sich für die Bearbeitung scharf abgegrenzter Erhebungseinheiten.

Bei Anwendungen mit Flächenbezug (Boolean-Situationen, Nachbarschaftsanalysen, Simulationen) werden Rasterdaten und bei Problemen mit Grenzbezug (Netzwerkanalyse, Datenbankabfragen, Oberflächenanalysen u. a.) Vektordaten verwendet. Der Übergang vom Raster- ins Vektorformat ist genauso möglich wie anders herum. Sowohl Rasterung als auch Vektorisierung führen zu einem gewissen Maß an Informationsverlust, der insbesondere bei der Ergebnisbewertung berücksichtigt werden muss (vgl. SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.58ff; MALCZEWSKI, 1999, S.25ff).

3.8.4 Geographische Informationssysteme zur Planungsunterstützung

Der Einsatz von GI Systemen als aktives Unterstützungsinstrument bei raumbezogenen Planungsverfahren und Bewertungen bietet hinsichtlich datenbezogener und methodischer Aspekte diverse Möglichkeiten, unterliegt jedoch auch einigen Beschränkungen. Vorteilhaft ist die Vorhaltung einer Datenstruktur die es dem Anwender erlaubt „raumbezogene Sachverhalte in einem digitalen Modell“ (SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.58) darzustellen und zu analysieren.

GI Systeme dienen in der raumbezogenen Planung sowohl als *Informationssysteme*, durch Bereitstellung und Präsentation von Primärdaten, wie auch als *Produktionssysteme*. Hierbei werden durch Datenoperationen, insbesondere durch geographische Analysen, Sekundärdaten erstellt. Zu den Analysemöglichkeiten zählen unter anderem „Pufferbildung, Distanzanalyse oder Verschneidung“ (SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.58). Merkmalsausprägungen von Kriterien können automatisiert erhoben und in Bewertungsverfahren übernommen werden (vgl. SCHWARZ- v. RAUMER, 1999, S.58ff).

Ergänzend dazu nennt SONG (1998) eine Reihe von Funktionen, welche in einem GI System die Basis für ein Modell bilden. „Geographische analytische Funktionen“ (S.115) dienen dazu Informationen für die Aggregation von Kriterien nach Entscheidungsregeln vorzubereiten. Dies geschieht durch „automatische Selektion, Pufferung, Verschneidung und Extraktion“ (S.115). Die Aggregation erfolgt durch „Overlayfunktionen“ (S.115), welche die graphische Überlagerung der Kriterien unter Berücksichtigung von Merkmalsausprägungen ermöglichen.

GI Systeme zur Durchführung bzw. Unterstützung von multikriteriellen Bewertungsverfahren sind bei Entscheidungsproblemen mit Raumbezug unabdingbar. „Sie modellieren die multikriterielle Präferenzinformation des Entscheidungsträgers und unterstützen damit (...) die Entscheidungsfindung“ (SCHNEEWEIß, 1992, S.171). Jedoch gilt es zu beachten, dass bezüglich der Implementierung von Bewertungs- und Gewichtungsmethoden nicht von allen GI Systemen alle notwendigen Funktionalitäten bereitgestellt werden. In diesen Fällen muss auf externe EDV-Module zurückgegriffen werden. GI Systeme können generell gewinnbringend als Unterstützungsverfahren eingesetzt werden. Allerdings muss sich der Entscheider dabei bewusst sein, dass ein Bewertungsvorgang generell subjektiv vonstatten geht und ein Entscheidungsmodell von Freiheitsgraden bestimmt wird. Der Entscheider muss bei der Durchführung von Bewertungsverfahren auf korrekte und fundierte Anwendung von Messvorschriften, Transformationen sowie auf adäquaten Einsatz von Methoden und Gewichtungsverfahren achten. Resultate sind als relativ anzusehen und dürfen nur im Hinblick auf die verwendeten Daten, Methoden und Vorgehensweisen betrachtet und interpretiert werden (vgl. SCHWARZ- v. RAUMER, 1999; SONG, 1998; SCHNEEWEIß, 1992).

3.9 Gewichtung und Methoden bei Multikriteriellen Entscheidungsverfahren

Der Bereich der *Multikriteriellen Entscheidungsverfahren* umfasst nach WEBER (1993, S.15) multiobjektive und multiattributive Methoden. Im Abschnitt 3.7.4 wurde bereits auf die Unterschiede, welche zwischen den beiden Verfahren bestehen, eingegangen.

Die Bearbeitung der Fragestellung dieser Arbeit erfordert die Anwendung von multiattributiven Entscheidungsverfahren. Aus diesem Grund werden im Folgenden die zur Verfügung stehenden Arten von Entscheidungsmethoden für die Bearbeitung eines multiattributiven Entscheidungsproblems dargestellt.

Multiattributive Methoden wurden dazu entwickelt Lösungen für ein (Global-/Ober-) Ziel zu finden. Im Folgenden wird auf die drei Typen der Satisfizierenden-, der Additiven- und der sonstigen Gewichtungsverfahren, wie sie WEBER beschreibt, eingegangen. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Additiven Gewichtungsverfahren gelegt, welche die Grundlage für den von SAATY entwickelten *Analytic Hierarchy Prozess* (AHP) bilden, auf den in Abschnitt 3.10 gesondert eingegangen wird (vgl. WEBER, 1993, S.15ff).

3.9.1 Satisfizierende Gewichtungsmethoden

Beim Satisfizierungsverfahren (satisficing method) hängt die Akzeptanz einer Lösung (Alternative) davon ab, ob eine Attributsausprägung erreicht wird, die für den Entscheider als befriedigend angesehen wird. An ein Satisfizierungsverfahren können disjunktive und konjunktive (Standard-)Anforderungen gestellt werden.

Disjunktive Anforderungen implizieren eine Prüfung der Attributsausprägungen in binärer Form. Relative Gewichtungen spielen hierbei keine Rolle. Die Beschreibung von Attributen muss nicht in quantitativer Art und Weise erfolgen, sondern kann genauso gut verbal erfolgen. Treffen diese Merkmale auf ein Kriterium zu, wird es als *constraint* (vgl. 3.5 und 3.7.6) bezeichnet.

Ein Konjunktives Satisfizierungsverfahren setzt für die Akzeptanz einer Lösung (Alternative) die „gleichzeitige Erfüllung aller Attributsvorgaben“ (WEBER, 1993, S.45) voraus.

Kann durch Anwendung einer der eben genannten Methoden keine Entscheidung herbeigeführt werden und macht die Menge, der am Ende des Verfahrens zur Auswahl stehenden Alternativen, eine eindeutige Festlegung unmöglich, können die beiden Methoden als Vorstufen in einem mehrstufigen Entscheidungsverfahren betrachtet werden. Weitere Untersuchungen können mit Hilfe von Additiven Gewichtungsmethoden durchgeführt werden, um eine weitere Differenzierung der zur Auswahl stehenden Alternativen zu erreichen (vgl. WEBER, 1993, S.44ff).

3.9.2 Additive Gewichtungsmethoden

Additive Gewichtungsverfahren werden auf Ebene der Attribute (factors) eingesetzt. Die einzelnen Attribute werden selektiert, nach ihrer Relevanz beurteilt und gewichtet. Der Gewichtungsprozess wird als Evaluierung bezeichnet. Zweck des Prozesses ist es aus der Gesamtmenge der Attribute eine globale Kenngröße zu bilden mit deren Hilfe Alternativen beurteilt werden können (vgl. WEBER, 1993, S.46). Die Gewichtungen werden von Experten bzw. einem Experten vorgenommen. Speziell für den Fall, dass mehrere Experten beteiligt sind, wurden Methoden entwickelt, um aus der Vielzahl von unterschiedlichen Kompetenzen, Kenntnissen und Meinungen auf einen gemeinsamen Nenner für die konkrete Gewichtung (einen Zahlenwert) zu kommen. Eine verbreitete Methode ist die *Delphi-Methode*. Auf weitere Erläuterungen zu dieser und anderer Methoden wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen.

Die Thematik der Additiven Gewichtungsmethoden kann in zwei Bereiche gegliedert werden. Es gibt *einfache additive Gewichtungsverfahren* und *hierarchische additive Gewichtungsverfahren* (vgl. WEBER, 1993, S.46).

Einfache additive Gewichtungsverfahren (simple additive weighting methods) kennzeichnen sich dadurch aus, dass bedeutsam erscheinende Attribute durch Experten selektiert und nach Relevanz und Gewichtung eingestuft werden. Das Endresultat stellt eine additiv ermittelte Kenngröße dar, welche dazu dient Alternativen miteinander zu vergleichen (vgl. WEBER, 1993, S.48).

3.9.3 Phasenschema einfacher additiver Gewichtungsverfahren

In den folgenden Zeilen wird das Phasenschema nach WEBER (1993, S.47ff) vorgestellt. Das Phasenschema gleicht dem des hierarchisch additiven Gewichtungsverfahrens (siehe 3.10.1).

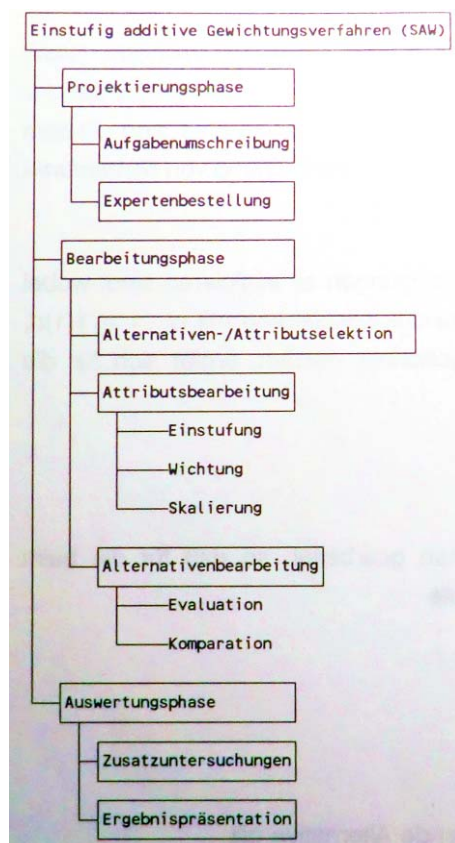


Abbildung 05: Phasenschema, einstufige additive Gewichtungsverfahren

Quelle: WEBER, 1993, S.48

Die Projektierungsphase umfasst die Aufgabenbeschreibung und die Expertenbestellung. In der Aufgabenbeschreibung wird das Untersuchungsobjekt beschrieben und über den Zweck informiert. Die Berufung von Experten gilt nur für die Durchführung von Großprojekten.

In der Bearbeitungsphase einfacher (einstufiger) additiver Gewichtungsverfahren stehen die Alternativen- und Attributselektion im Vordergrund. Die Selektion von Alternativen soll objekt- und zielorientiert durchgeführt werden. Es sollen zwischen den Alternativen klar abgrenzbare Unterschiede bestehen. Die Anzahl sollte restriktiv behandelt werden. Null- und Verzichtsalternativen sollten ebenso Berücksichtigung finden. Bei der Auswahl von Attributen ist darauf zu achten, dass die Anzahl möglichst gering gehalten wird (zehn bis 15), sie voneinander unabhängig, erfassbar und relevant sind. Als Hilfsmittel werden Strukturdiagramme eingesetzt, um den logischen Zusammenhang zwischen Attributen höherer und niedrigerer Ordnung besser erkennbar zu gestalten. Durch Neudefinition oder Teilelimination von Attributen sollen Parallelattribute vermieden werden.

Die Attributbearbeitung bildet die Grundlage für die Bewertung von Alternativen. Attribute werden untereinander eingestuft und gewichtet. Des Weiteren werden Beurteilungsskalen für alle Einzelattribute erstellt.

Im nächsten Schritt werden Attribute in eine Rangfolge gebracht, wobei sich der Entscheider bei der Aufstellung der Präferenzfunktion an der Aufgabenstellung orientiert. Die Ordnung der Präferenzen erfolgt durch paarweise Gewichtung der Attribute. Für die Anzahl an Attributen n sind $n \cdot (n-1) / 2$ paarweise Vergleiche notwendig. Bei fünf Attributen sind dies zehn Vergleiche (vgl. WEBER, 1993, S.48-52).

Das erstellte Ranking (Rangordnung) wird dazu verwendet den einzelnen Attributen Gewichtungsfaktoren zuzuordnen. In diesem Schritt wird die Grundlage für „fundierte multikriterielle Alternativenvergleiche geschaffen“ (WEBER, 1993, S.53).

Die Festlegung der Gewichte kann uniform oder differenziert erfolgen. Uniform bedeutet, dass jedes Attribut eine Gewichtung im Verhältnis zur Gesamtanzahl bekommt, also $1/n$. Bei fünf Attributen erhält jedes das Gewicht 0,2. Bei differenzierter Gewichtung wird das Rangsummenverfahren eingesetzt. „Dabei wird dem wichtigsten Attribut die höchste Rangnummer zugeordnet“ und damit das höchste Gewicht (vgl. WEBER, 1993, S.53ff).

Die eben beschriebenen Vorgehensweisen sind als formal anzusehen. Erfolgt die Gewichtung durch ein Stufenverfahren ist der Entscheider bei der Gewichtung flexibler. Niedrig eingestufte Attribute erhalten beim Stufenverfahren einen Basiswert. Die Gewichtung der übrigen Attribute kann nichtlinear durchgeführt werden, wobei die verwendete Werteskala nach oben offen ist. Um jedoch diese Stufengewichtung als

Grundlage zur Attributsevaluation einsetzen zu können, muss eine Normalisierung angewandt erfolgen. Welche Form der Gewichtung eingesetzt wird hängt von der Aufgabenstellung ab. Entscheidend ist am Ende über eine realitätsnahe Gewichtungsstruktur zu verfügen (vgl. WEBER, 1993, S.55).

Die Attributsausprägung entspricht der Festlegung von Schwellwerten und die Bewertung der Zustände. Dies geschieht intermediär, d. h. innerhalb der Attribute. Die Merkmalsausprägungen jedes Attributs werden *extremal* (verbal oder numerisch) beschrieben, um daraus eine Variationsbreite ableiten zu können. Mit Hilfe dieser Variationsbreite kann eine Feinskalierung vorgenommen werden. Letztendlich ist dabei die numerische Ausdrucksweise vorzuziehen, da diese verständlicher ist (vgl. WEBER, 1993, S.56).

Die Alternativenbearbeitung umfasst die Evaluation und Komparation. Die einzelnen Attribute werden auf Skalen positioniert um sie schließlich „auf die generell verwendete Bewertungsskala umzusetzen“ (WEBER, 1993, S.58). Die Ergebnisse der einfachen Attributbewertung sind mit den Gewichtungsfaktoren zu multiplizieren. Diese Ergebnisse werden erneut addiert und dienen beim nachfolgenden paarweisen Alternativenvergleich als Basis.

Für die Alternativenkomparation empfiehlt WEBER die Darstellung und Gegenüberstellung in tabellarischer Form. Die Darstellung in Diagrammform ist in seinen Augen nur geeignet, wenn diese auf wenige Alternativen beschränkt wird.

Bei der Ergebnisauswertung stellt sich generell die Frage, ob Zusatzuntersuchungen notwendig sind. Als geeignete Maßnahme wird bei WEBER eine Sensitivitätsanalyse (siehe 3.1.1) genannt. Zusätzlich können weitere Restriktionen eingeführt werden, welche unter Umständen zu einer Neubewertung der Alternativen führen (vgl. WEBER, 1993, S.58ff).

Bezüglich der Festlegung der Präferenzfunktion nennt WEBER die beiden Möglichkeiten der *Nutzenfunktionsfreien und Nutzenfunktionsgestützten Verfahren*. Nutzenfunktionsfrei bedeutet, dass Attribute zur Evaluation einstufig angeordnet werden und eine Nutzfunktion explizit nicht berücksichtigt wird. Nutzugestützte Verfahren greifen auf Funktionen zurück, die es erlauben eine Präferenz rein nach ihrem Nutzwert zu definieren. Je höher der Nutzwert, desto höher die Präferenz und damit die Gewichtung eines Attributs. Auf weitere Erläuterungen wird an dieser Stelle verzichtet, da nach WEBER die praktische Relevanz als gering anzusehen ist, obwohl

Nutzengestützte Verfahren eine Verfeinerung der additiven Gewichtungungsverfahren darstellen würden (vgl. WEBER, 1993, S.47/63-65).

3.9.4 Sonstige Gewichtungsverfahren

Bei den sonstigen Verfahren handelt es sich um einfach strukturierte Verfahren, die „zur Bearbeitung praktischer Probleme nur bedingt geeignet“ (WEBER, 1993, S.65) sind. Zu diesen Verfahren zählen das Maximin-/Maximax-Verfahren, Lexikographische und Lineare Zuordnungsverfahren sowie das Eliminationsverfahren. Für die Fragestellung dieser Arbeit sind diese Verfahren jedoch nicht relevant (vgl. WEBER, 1993, S.65).

3.10 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Die Methode des *Analytic Hierarchy Process* (AHP) geht auf den Mathematiker Thomas L. SAATY zurück. Er entwickelte diese Methode in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts in den USA, wo er für das US Verteidigungsministerium arbeitete. Er beschäftigte sich mit der Theorie des Operation Research und fand heraus, dass es zur Lösung von Entscheidungsproblemen keiner hochkomplexen mathematischen Vorgehensweise bedarf. In Zuge seiner Forschungen entwickelte er die Technik des AHP, die auf einer holistischen wissenschaftlichen Vorgehensweise basiert (vgl. GOLDEN et al., 1998, S.1).

Nach SAATY (1994) muss eine Methode zur Entscheidungsfindung grundlegende Aspekte berücksichtigen: Sie sollte einfach aufgebaut, sowohl von Gruppen als auch von Individuen anwendbar sein. Sie sollte Raum lassen für die menschliche Intuition und Denkweise, Kompromiss- und Konsensbildung fördern und keine übermäßige Spezialisierung des Entscheiders voraussetzen.

Wiederkehrende Fragen, „Welche Faktoren fallen mehr ins Gewicht als andere?“, „Welche Ziele sind wichtiger als andere?“ „Welche Annahmen müssen getroffen, wie sollen Fragestellungen modelliert werden?“ brachten SAATY zu der Erkenntnis, dass es einer multikriteriellen Logik bedarf, um Probleme darzustellen und eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen.

Um eine Entscheidung treffen zu können benötigt ein Entscheider Daten, Informationen und Wissen. Er muss über die Problemstellung Bescheid wissen, beteiligte Personen sowie deren Ziele und Taktiken kennen. Er sollte sich der Interaktionen zwischen Einflüssen und Folgen im Klaren sein sowie sich über zeitliche Abläufe, Szenarien und Auflagen informieren.

Hierarchische additive Entscheidungsfindung ist ein Prozess, der folgenden Schritte umfasst (vgl. SAATY, 1994, S.4/5):

- Hierarchische oder systematische Modellierung einer Problemstellung als System, in dem keine Abhängigkeiten zwischen einzelnen Faktoren bestehen.
- Darstellen von Ideen, Gefühlen und Gemütszuständen (Präferenzen) in Form von aussagekräftigen Kenngrößen (Präferenzfunktion) um Informationen (Attribute) in eine Rangfolge bringen zu können.
- Die Berechnungsergebnisse für die einzelnen Attribute werden aggregiert um zu einem schlüssigen Gesamtergebnis zu kommen.
- Über Gewichtungen wird die Alternativenwahl beeinflusst.

3.10.1 Methodik

Im diesem Abschnitt wird der Frage nachgegangen was hinter der Methode steckt und wieso die Methode den Namen *Analytic Hierarchy Process* trägt.

Bei der AHP-Methode handelt sich um einen holistischen (ganzheitlichen) Ansatz zur Betrachtung eines Entscheidungsproblems. Die Lösung eines Problems erfolgt durch Analyse der Teilprobleme im Hinblick auf einen Gesamtkontext.

Die Analyse entspricht einer Alternativenwahl bei der Absolutwerte nicht erforderlich sind. Die Auswahl erfolgt nach paarweiser Gewichtung der Kriterien. Präferenzen werden durch Gewichtungsverhältnisse ausgedrückt.

Mit der AHP-Methode ist es möglich ein Problem zu strukturieren und in Teilprobleme zu zerlegen. Dies ermöglicht es dem Entscheider komplexe Probleme zu überblicken und handhaben zu können. Das Hierarchieschema lautet im einfachsten Fall nach dem Top-Down-Ansatz: Ziel – Kriterien – Unterkriterien – Alternativen. Die Anzahl der Ebenen kann beliebig erhöht werden, beispielsweise um eine weitere Ebene mit Unterkriterien oder durch die Unterscheidung von Ober- und Unterziel. Mit jeder Ebene steigt jedoch die Komplexität.

Jeder Prozess besteht aus Lernen, Diskussion und Überprüfung der eigenen Prioritäten. AHP soll den Entscheidungsprozess unterstützen und verkürzen. Die Methode ersetzt den Entscheidungsprozess nicht, hilft aber dem Entscheider seine Prioritäten zu prüfen und zeigt auf wo ihm noch Informationen fehlen. Entspricht das Ergebnis nicht seinen Erwartungen oder ist er der Meinung, dass seine Präferenzen nicht richtig in den Entscheidungsprozess eingeflossen sind, kann er die Gewichtung ändern oder die Ordnung in der Hierarchie modifizieren (vgl. HARKER et al., 1989, S.3ff).

Durch Anwendung der AHP-Methode wird ein Problem durch Hierarchisierung in Teilbereiche zerlegt, und damit übersichtlicher und verständlicher. Sie hilft dem Entscheider sich seiner Präferenzen bewusst zu werden. Gegenüber Personen, die von der Richtigkeit einer Entscheidung überzeugt werden sollen, hilft AHP eine Entscheidung transparenter, verständlicher und nachvollziehbarer zu machen. Das Ergebnis einer Analyse (eine Entscheidung) hängt davon ab wie ein Entscheidungsproblem formuliert wird. AHP unterstützt den Entscheider bei der Formulierung des Problems und trägt dadurch dazu bei, dass die Qualität der Ergebnisse zunimmt (vgl. HARKER et al., 1989, S.3ff).

3.10.2 Phasenschema hierarchischer additiver Gewichtungsmethoden

Ein Gewichtungsverfahren nach der AHP-Methode gehört zu den hierarchischen additiven Gewichtungsverfahren und läuft, strukturell gesehen, weitestgehend identisch ab wie bei einem einstufigen additiven Gewichtungsverfahren (vgl. Phasenschema 3.9.3).

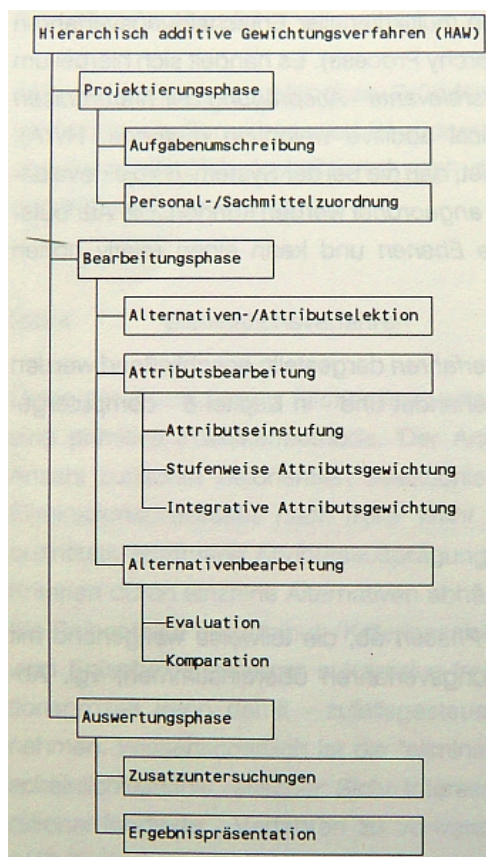


Abbildung 06: Phasenschema, hierarchische additive Gewichtungsverfahren

Quelle: WEBER, 1993, S.48)

Unterschiede in den Abbildungen 05 (siehe 3.9.3) und 06 zeigen sich bei der Personal- und Sachmittelzuordnung während der Projektierungsphase. Neben der Bestellung von Experten ist eine geeignete AHP Software (Sachmittel) zu beschaffen. Die Anzahl der beteiligten Experten hängt vom Projektumfang ab. Meist werden nur bei Großprojekten

Expertengruppen gebildet. Ihre Aufgabe ist die Bestimmung der Attributvergleichswerte durch Konsensbildung, Mehrheitsbeschlüsse oder Kompromissbildung. Ebenso können mehrere Expertengruppen zum Einsatz kommen. In so einem Fall werden die erarbeiteten Resultate für den weiteren Prozessverlauf kombiniert. Ein probates Mittel ist die Berechnung von einfachen oder gewichteten Mittelwerten. Genauso kann jedoch eine Einzelperson die Attributvergleichswerte festsetzen, beispielsweise durch Rückgriff auf entsprechende Literatur.

Die größten Unterschiede offenbaren sich in der Phase der Attributbearbeitung. Bei hierarchisch additiven Gewichtungsmethoden erfolgt die Gewichtung stufenweise und integrativ (vgl. WEBER, 1993, S.74ff).

3.10.3 Attributseinstufung und Gewichtung

In der Selektionsphase werden Alternativen und Attribute, nachdem sie für die Beschreibung der Aufgabe nur tentativ erfasst wurden, definitiv selektiert. Es gilt darauf zu achten, „daß nur wesentlich voneinander abweichende und potentiell entscheidungsrelevante Alternativen (...) einzubeziehen sind“ (WEBER, 1993, S.76).

Die Anzahl der Attribute soll auf maximal 25 begrenzt werden, wobei nur klar erfassbare und für die Evaluation der Alternativen relevante Merkmalsausprägungen selektiert werden sollen.

Folgende Leitsätze sind bei der Attributseinstufung zu beachten:

- Die Einübung der Vorgehensweise erfolgt am besten anhand von Fallstudien, welche in der Basisliteratur zu finden sind.
- Bei der Vorbereitung in der Praxis zu beachten (vgl. WEBER, 1993, S.76-79):
 - Globalziel klar definieren, operationale Subziele festlegen
 - Prüfen, ob eine Aufteilung der Gesamtanalyse in separate Teilanalysen möglich ist
 - Gut gegliederte Attributstruktur, Prüfung der logischen relationalen Verankerung über alle Hierarchiestufen
 - Die qualitative/quantitative Vergleichbarkeit muss für hierarchisch gleichgestellte Attribute, in Bezug auf ein gemeinsames Ankerattribut sichergestellt sein

- Für den paarweisen Attributvergleich: Testweise Formulierung von Fragen
- Die Analyse beschränken. Der Entscheider soll sich nur mit gut abgrenzbaren und wesentlich von einander abweichenden Alternativen beschäftigen

Die Stufenweise Attributgewichtung basiert „auf dem paarweisen Vergleich gleichgeordneter hierarchisch identisch verankerter Punkte“ (WEBER, 1993, S.80). Sie wird auf allen Hierarchiestufen durchgeführt. Dabei wird jede Alternative mit jeder anderen verglichen. Als Ankerattribut fungiert ein Attribut der übergeordneten Stufe oder „ein Element der Zielhierarchie“ (WEBER, 1993, S.80).

„Der AHP geht davon aus, daß Paarvergleiche durch Verhältnisse ausdrückbar sind“ (SCHNEEWEIß, 1991, S.160). Der Entscheider muss sich festlegen, „um wieviel eine Alternative i hinsichtlich Attribut k besser ist als Alternative j“ (SCHNEEWEIß, 1991, S.160). Die Ergebnisse des paarweisen Vergleichs werden auf Verhältnisskalenniveau in einer Evaluationsmatrix zusammenfasst. Um die Verhältnisse zu beschreiben, empfiehlt SAATY eine Skaleneinteilung von 1 bis 9. Diese wird in den *meisten* Fallstudien bevorzugt. Die Anzahl der paarweisen Vergleiche halbiert sich, weil die Evaluationsmatrix reziprok ist (vgl. SCHNEEWEIß, 1991, S.160ff).

Tabelle 29: Evaluationsmatrix, Beispiel

i \ j	1	2	3
1	1	6	3
2	(1/6)	1	1/3
3	(1/3)	(3)	1

Klasse k	Umschreibung
1	gleich
3	etwas größer
5	wesentlich größer
7	viel größer
9	sehr viel größer

Abbildung 07: Evaluationsmatrix und Skala

Quelle: WEBER, 1993, S.86/87

Auf die zugrundeliegenden mathematischen Ansätze und eine ausführlichere Beschreibung des Rechenwegs wird in dieser Arbeit verzichtet, da diese in der einschlägigen Basisliteratur und in Fallstudien nachzulesen ist.

Nächster und entscheidender Schritt ist die Eigenvektorberechnung. Der Eigenvektor ist nichts anderes als das Gewicht, welches den Stellenwert eines Attributes bei der Beurteilung der Alternativen ausdrückt. Die Eigenvektorberechnung wird nach einem Standardverfahren durchgeführt und umfasst die vier Schritte:

- Übernahme von direkt festgelegten Attributvergleichswerten in die Evaluationsmatrix

- Ergänzung der reziproken Vergleichswerte
- Spaltenweise Addition der Vergleichswerte mit anschließender Normierung
- Zeilenweise Addition der Vergleichsergebnisse, anschließende Normierung der Selben

Attribute	Evaluations- ergebnisse, Direktvergleich		Ergänzte Evaluations- ergebnisse		Normierte Spaltenwerte		Zeilen- summe	Normierter Eigenvektor/ Gewicht
	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂		
A ₁	1	3	1	3	3/4	3/4	6/4	3/4
A ₂	(.)	1	(1/3)	1	1/4	1/4	2/4	1/4
Spaltensumme			1 1/3	4	1	1	2	1

Abbildung 08: Tabelle Eigenvektorberechnung

Quelle: WEBER, 1993, S.94

Für die Berechnung des Eigenvektors sind entweder Grundkenntnisse in der Matrizenrechnung erforderlich oder der Entscheider behilft sich mit entsprechenden Programmen. Den letzten Schritt bei der Eigenwertberechnung bildet die Konsistenzprüfung. Dazu wird der Konsistenzwert der Evaluationsmatrix nach der Formel $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ berechnet und mit den *R-Werten zur Konsistenzratio-Berechnung nach SAATY* berechnet. λ ist dabei die Summe der Eigenvektoren geteilt durch ihre Anzahl. Die Tabelle mit den R-Werten findet sich in Abbildung 9. Sollte der Konsistenzwert nicht den Erwartungen entsprechen, d. h. er liegt über einem Wert von 0,1, zeigt er eine Inkonsistenz der Matrix auf und es muss bei den Verhältnisniveaus der Evaluationsmatrix nachgebessert werden.

Tabelle 35. R-Werte zur Konstistenzratio-Berechnung

n Anzahl Attribute	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R nach Saaty	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49
R nach Donegan/Dodd	0.00	0.49	0.80	1.06	1.18	1.25	1.32	1.37	1.41

Abbildung 09: Eigenvektorberechnung

Quelle: WEBER, 1993, S.96

Den abschließenden Schritt der Attributsbearbeitung stellt die integrative Attributsgewichtung dar. Dazu werden die Gewichte der einzelnen Hierarchiestufen durch Multiplikation miteinander verkoppelt. Die verkoppelten Gewichte der einzelnen Stufen haben jeweils den Wert 1. „Die aggregierten Alternativengewichte dienen als Grundlage zur Positionierung (overall rating) der einzelnen Alternativen“ (WEBER, 1993, S.94). Mit der integrativen Attributsgewichtung als Grundlage kann für die

Alternativen eine Rangfolge aufgestellt werden. Die Phase der Attributsbearbeitung ist damit abgeschlossen (vgl. WEBER, 1993, S.80ff; SCHNEEWEIß, 1993, S.160ff).

Die Auswertephase besteht im Wesentlichen aus der Präsentation und Interpretation der Ergebnisse. Dies kann in schriftlicher Form, gegebenenfalls ergänzt durch Diagramme oder kartographische Darstellungen erfolgen. Quasistandard ist jedoch eine Evaluation des Modells durch eine Sensitivitätsanalyse (siehe 3.11.1).

3.11. Evaluierungsmethoden und Problemstellungen

Neben der Sensitivitätsanalyse, deren Zielsetzung es ist ein Modell auf Änderungen und Störungen zu untersuchen, wird in diesem Abschnitt die Maßstabsabhängigkeit von Modellen betrachtet. Dieses Problem ist in der Literatur unter dem Begriff des *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) zu finden.

3.11.1 Sensitivitätsanalyse

Eine Sensitivitätsanalyse entspricht einer Zusatzuntersuchung. Mit ihrer Hilfe wird untersucht wie groß Veränderungen bei der Attributgewichtung sein dürfen, ohne dass sich die Alternativenrangfolge ändert. Diese Vorgehensweise bedingt eine zweistufige Attributgliederung bei der sich veränderte Gewichtungen eines Attributs auf sein Ankerattribut auswirken. Ebenso beeinflusst die veränderte Gewichtung die relative Gewichtung der sich auf einer Ebene befindenden Attribute (vgl. WEBER, 1993, S.108).

„Die Sensitivitätsanalyse untersucht die Sensitivität oder Empfindlichkeit eines Modells bezüglich Änderungen oder Störungen eines Systems“ (SCHWEIGER, 2005, S.6). Es werden die Beziehungen zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen eines Modells untersucht. SCHWEIGER (2005, S.10) nennt fünf mögliche **Zielsetzungen einer Sensitivitätsanalyse**: Modellvalidierung, Modelloptimierung, Identifikation wichtiger Eingangsgrößen, Identifikation von Modelleigenschaften und Risikobewertung.

Bei multikriteriellen Entscheidungsverfahren geht es in erster Linie um die Modelloptimierung und -validierung. Als *Stellschrauben* dienen dazu die Gewichte der Attribute und die Schwellwerte für die Merkmalsausprägung sowie die Anzahl von Bewertungsklassen. Durch Veränderung eines Parameters und gleichzeitigem Festhalten der anderen wird geprüft wie und ob sich die Rangfolge von Alternativen im Modell in Bezug auf ein bestimmtes Kriterium ändert. Dies entspricht nach SCHWEIGER (2005) einer lokalen quantitativen Vorgehensweise. Sollte sich eine veränderte Rangfolge der

Alternativen bei bestimmten Kriterien ergeben, ist es anzuraten die Bestimmung der Gewichte und die Definition der Schwellwerte in den Entscheidungsregeln zu überdenken. Ergeben sich in der Alternativenrangfolge infolge moderater Änderungen in den Parametern keine Änderungen, kann das Modell als valid bzw. robust betrachtet werden (vgl. MALCZEKSI, 1999, S.268ff; SCHWEIGER, 2005, S.6ff).

3.11.2. Modifiable Area Unit Problem (MAUP)

In der Planung gilt es die räumliche Verteilung sozialer und natürlicher Phänomene zu berücksichtigen. Es sollen die allgemeinen Prinzipien ergründet werden, welche der räumlichen Ausprägungen eines Phänomens im Zusammenhang mit anderen Phänomenen zugrunde liegen. Als Hilfsmittel dienen die thematische Kartographie, statistische Analysen und räumliche Modellierungen.

„Ein grundlegendes Problem dabei aber ist, dass die Ergebnisse solcher Analysen abhängig sind von der Definition der untersuchten Raumeinheiten“ (GRASLAND, 2009, S. 645). In der Literatur ist dieses Problem unter dem Begriff *Modifiable Area Unit Problem*, kurz MAUP, zu finden. Ins Deutsche übersetzt würde es als *Problem der veränderbaren Gebietseinheit* bezeichnet werden.

3.11.2.1 Problembeschreibung

MAUP äußert sich auf zwei Arten. Einmal bei der Auswahl des, der Untersuchung zugrundeliegenden Maßstabs bzw. der Betrachtungsebene. Beispiele hierzu sind Gemeinde-, Bezirks- und Landesgrenzen, welche drei betrachtenswerte Ebenen darstellen. Die andere Art der Manifestation ist die Art und Weise wie die Festlegung der Zonen (räumliche Gliederung) erfolgt. Diese wirkt sich direkt auf die Ergebnisse aus. Diese können widersprüchlich sein und zur Verwirrung der Entscheidungsträger führen (vgl. GRASLAND, 2009, S.645ff).

Durch Festlegung des Maßstabs und Zonierung wird die Auflösungsgenauigkeit festgelegt. Die räumliche Betrachtungsebene wirkt als Filter bei der Analyse eines Phänomens. GRASLAND weist darauf hin, dass dies zwei Auswirkungen mit sich bringt. Einmal bewirkt die Definition einer Untersuchungseinheit eine Einschränkung bezüglich des Resultats andererseits kann die Definition als Werkzeug zur Wissensgenerierung eingesetzt werden.

Die Wahl der Gebietseinheiten erfolgt meist zufällig, sie ist veränderbar und der Laune desjenigen ausgesetzt, der die räumliche Gliederung verantwortet. Der überwiegende Teil der räumlichen Objekte gehören zur Gruppe der *non-modifiable units*. Dies sind

unveränderbare Objekte, wie Haushalte oder Personen. Die andere Gruppe besteht aus den *modifiable units*, welche veränderbar sind. Diese räumlichen Einheiten sind beispielsweise Distrikte, Plätze, Städte und Zensusseinheiten. Vielfach sind sie gleichbedeutend mit administrativen Grenzen. Die Art und Weise wie räumliche Einheiten gegliedert werden unterliegt keinen spezifischen Regeln, keinen Standards und keinen internationalen Vereinbarungen.

„The definition of these geographical objects is arbitrary and (in theory) modifiable at choice” (OPENSHAW, 1984, S.3).

Die Definition der Zensusseinheiten orientiert sich an den administrativen Bedürfnissen der Behörden. Aus diesem Grund haben Zensusdaten meist keine spezifische geographische Bedeutung. In einem solchen Fall müssen Resultate von Analysen in Zweifel gezogen werden oder es muss zumindest berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse in Abhängigkeit von den gewählten Untersuchungseinheiten zu betrachten sind.

In der Literatur wird die Frage aufgeworfen in wie weit es etwas ausmacht, dass es diese Abhängigkeit gibt und ob es einen Veränderungseffekt im Resultat zur Folge hat, wenn die zugrunde liegende räumliche Gliederung verändert wird. Falls ja, was kann getan werden? (vgl. OPENSHAW, 1984, S.3ff).

3.11.2.2 Wie stellt sich das Problem dar?

Das MAUP setzt sich aus einer Menge von Subproblemen zusammen.

Es gibt das Maßstabsproblem, welches auftritt wenn Erfassungseinheiten zu größeren und übergeordneten, jedoch in der Anzahl geringeren, Einheiten aggregiert werden. In so einem Fall verändert sich der Informationsinhalt von Ebene zu Ebene. Des Weiteren besteht die Schwierigkeit zu entscheiden welche Anzahl von Einheiten für spezifische Probleme geeignet ist. Eine Entscheidung darüber unterliegt immer einer Unsicherheit. Ebenso stellt sich, wenn eine spezifische Anzahl festgelegt wurde, die weitergehende Frage, wie die Einheiten aggregiert werden sollen um die festgelegte Anzahl zu erreichen. Diese Problematik wird als das Aggregationsproblem bezeichnet. Für die Wahl der Art der Aggregation bleibt in der Regel mehr Spielraum als bei der Festlegung der Anzahl der Einheiten.

Einzelne Einheiten können zu übergeordneten Einheiten (Zonen) aggregiert werden, wobei der Maßstab gleich bleibt. Die Anordnung kann als Zonensystem und als Gruppensystem erfolgen. Beim Zonensystem werden gleichartige Einheiten aufgrund

unmittelbarer Nachbarschaft aggregiert, während beim Gruppensystem Einheiten zu einer Zone zusammengelegt werden, die nicht aneinander angrenzen.

Gerade bei einer Rastereinteilung kommt es zum *Zonierungseffekt*, bei dem eine kleine Verschiebung des Rasterursprungs zu „völlig unterschiedlichen Wahrnehmungen des Phänomens führen“ kann (GRASLAND, 2009, S.648). Daraus folgt, dass Resultate einer Berechnung nicht auf andere Maßstäbe oder Gebietseinteilungen übertragen werden sollen.

In die gleiche Richtung geht OPENSHAW bei der Beschreibung des, wie er es nennt, *ecological fallacy problem*. Er warnt davor dem Trugschluss aufzusitzen, dass bei Ergebnissen, welche auf der Analyse von aggregierten Informationen beruhen, davon ausgegangen wird, dass diese Ergebnisse nun auch für die einzelnen Subeinheiten gelten aus denen sich die aggregierten Einheiten zusammensetzen. „Auch wenn es nicht immer offensichtlich ist, stellen doch alle Formen der Aggregation eine Transformation dar“ (GRASLAND, 2009, S.647). Eine Aggregation geht also einher mit einem gewissen Grad an Informationsverlust. Das *ecological fallacy problem* hängt keineswegs davon ab, welche Art der Aggregation gewählt wird. Vielmehr tritt es gar nicht auf, falls eine Zonierung oder Gruppierung in sich homogen durchgeführt wird (vgl. OPENSHAW, 1984, S.8).

3.11.2.3 Umgang mit dem Problem

Eine Vielzahl von Studien beruht auf der Annahme, dass die Auswahl der Untersuchungseinheiten keinen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis hat, obwohl das MAUP bekannt ist. Es wird ignoriert, weil räumliche Einheiten als gegeben, sinnvoll und unveränderbar angesehen werden. Im Kontext der Raumplanung bedienen sich Raumplaner, zum Teil aus praktischen Erwägungen heraus, der im Bearbeitungsmaßstab verfügbaren Informationen, welche sich in der Regel auf administrative Einheiten beziehen.

OPENSHAW bezeichnet MAUP als das wichtigste ungelöste Problem im Bereich der räumlichen Analyse (vgl. S.6). Er hält es sowohl für ein technisches als auch für ein konzeptuelles Problem. Er bemängelt, dass es keine standardisierten Untersuchungseinheiten gibt.

„It is most unfortunate that there is no standard set of spatial units“ (OPENSHAW, 1984, S.3).

In einer zeitlichen Reflexion beschreibt OPENSHAW wie bei der Anwendung von statistischen Verfahren Eigenheiten des MAUP oft schlicht übersehen wurden oder davon ausgegangen wurde, dass mit verschiedenen unrealistischen Annahmen, bezogen auf statistische und geographische Vorgehensweisen, schon entsprechend umgegangen werden kann. Als wichtiger wurde die Wahl der richtigen statistischen Methode angesehen. Erst langsam setzte sich die Erkenntnis durch, dass damit aufgehört werden muss, Techniken aus anderen wissenschaftlichen Disziplinen in die Geographie zu importieren und zu adaptieren. Der Weg sollte wegführen von rein statistischen Ansätzen der räumlichen Analyse hin zu einer fundamentalen methodologischen Erneuerung in der Geographie. Dem MAUP bescheinigt er eine gute Möglichkeit zu sein, neue geographische Techniken und Ansätze zu entwickeln (vgl. OPENSHAW, 1984, S. 3ff).

3.11.2.4 Stellt MAUP ein einlösbares Problem dar oder kann es als mächtiges geographisches Werkzeug dienen?

Das MAUP kann dazu führen, dass kartographische Darstellungen und statistische Analysen von Situationen, in Abhängigkeit zur gewählten Raumgliederung, zu unterschiedlichen Ergebnissen und damit zu unterschiedlichen Interpretationen der Erkenntnisse führen. Allerdings wurde bis heute keine allgemeingültige Systematik entdeckt mit der sich die Problematiken des MAUP exakt erklären ließen. Das MAUP muss nicht zwangsläufig als Problem angesehen werden. Es kann dazu verwendet werden neue Erkenntnisse über ein Phänomen zu gewinnen. GRASLAND (S.650ff) führt als Beispiel die Möglichkeit des besseren Verständnisses einer Sozialstruktur an, je nach dem, ob ein Auftreten von räumlicher Segregation in verschiedenen Maßstabsebenen erkennbar ist oder nicht.

Problematisch wird es immer dann, wenn historische oder internationale Vergleiche angestellt werden. Hier ist es unabdingbar zu prüfen, ob die Erfassungsart und die zugrundeliegenden Ebenen der Bezugseinheiten der verwendeten Daten auf gleichen Prinzipien beruhen. GRASLAND (S.651) führt hier die Untersuchung der Verteilung von niedrigem Wohlstand in der EU an. An die Ergebnisse dieser Untersuchung ist die Zuteilung von Fördermitteln geknüpft. Er bedient sich der räumlichen Bezugseinheiten der amtlichen Statistik in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union, den sogenannten NUTS (Gemeinsame Klassifikation der Gebietseinheiten für die Statistik) und zeigt auf, dass die Ergebnisse variieren, abhängig davon, welche Ebene der Analyse zugrunde gelegt wird. Je größer die Anzahl der Raumeinheiten ist, desto häufiger ergeben sich im

Ergebnis lokale Maxima und Minima. Dies bedeutet, wenn eine niedrige NUTS Ebene, also eine größere Anzahl von Raumeinheiten für eine Berechnung, herangezogen wird, vergrößern sich die Gebietsflächen, welche als förderwürdig eingestuft werden und somit kann mehr Geld aus Brüssel angefordert werden (vgl. GRASLAND, 2009, S.650ff).

Eine weitere kritische Betrachtung des MAUP findet sich bei STROTBECK, der sich in seiner Dissertation mit regionaler Innovationsökonomik beschäftigt hat. Er führt als Beispiel die staatliche Innovation- und Forschungsförderung an. Es geht um die Frage, ob erfolgversprechende Ballungen von innovativen Unternehmen erkannt werden können und anschließende Analysen von Entstehungsursachen, Antriebskräften und Erfolgsfaktoren auf richtiger zonaler Grundlage durchgeführt werden können, damit diese Unternehmensagglomerationen als regionale Verbundprojekte gezielt gefördert werden können. Er weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass aufgrund des MAUP regional aggregierte Daten die Aufdeckung von Agglomerationen erschweren. Eine Lösung für das MAUP ist aus seiner Sicht noch nicht gefunden. Er schreibt, dass lediglich durch distanzbasierte Methoden diesem Problem zu begegnen ist, welche jedoch ein Schattendasein führen, da indexbasierte Agglomerationsmaße geringere Anforderungen an die Daten stellen und operabler sind (vgl. STROTEBECK, 2010, S.99).

3.11.2.5 Lösungen für MAUP

Obwohl MAUP derzeit als ungelöstes Problem gilt, lehnt es OPENSHAW ab, es einfach zu ignorieren und so zu tun als existiere es nicht - nach dem Motto: *so können wenigstens überhaupt Analysen durchgeführt werden*. MAUP gilt als ungelöst, jedoch gibt es mittlerweile eine Reihe von Konzepten und Techniken in der modernen Geographie um mit diesem Problem umgehen zu können.

OPENSHAW hält die Art und Weise wie mit MAUP in der Praxis umgegangen wird als falsch, ebenso die Gründe, welche genannt werden warum diese Problematik ausgeblendet wird. Er hält diese Gründe für vorgeschoben und kritisiert,

- so zu tun, als ob MAUP nicht existiert und zu hoffen, dass die Ergebnisse trotzdem aussagekräftig sind oder zumindest interpretierbar.
- es als nicht sinnvoll anzusehen, sich Gedanken über spezifische Untersuchungseinheiten zu machen, da Geographen meist keinen Einfluss darauf haben für welche Einheiten Information erfasst werden.

Er ist der Ansicht, dass das MAUP berücksichtigt werden muss und kann. Die von ihm vorgeschlagene methodologische Vorgehensweise sieht im ersten Schritt vor den Zweck bzw. das Ziel der Studie definieren. Das erwünschte Resultat solle als Hypothese formuliert werden und als Zielfunktion in eine AZP (*Automated Zoning Procedure*) übernommen werden. AZP beschreibt eine rechenintensive Prozedur mit deren Hilfe eine Optimierung der Zielfunktion erreicht werden soll. Dies kann die Bevölkerungsdichte oder auch die Kompaktheit von Zonen sein. Die Prozedur versucht in einem iterativen Prozess Diskrepanzen zwischen zwei Zonen zu minimieren (vgl. OPENSHAW, 1984, S. 37/38; MARTIN, 2001, S.1).

Bei GRASLAND hingegen finden sich in erster Linie kartographische Lösungsvorschläge. Die erste mögliche Lösung, die er beschreibt, ist die Anwendung der Nachbarschaftspotentialmethode bei der ein räumliches Muster unabhängig vom Aggregationsgrad der ursprünglichen Daten gewählt wird.

Die zweite Lösungsmöglichkeit findet sich nach GRASLAND in der Überwindung des Darstellungsproblems durch Anwendung einer Choroplethenkarte, bei der der Nenner des jeweiligen Indikators als Größenvariable für Proportionalsymbole verwendet wird. Als Alternative empfiehlt er den Einsatz von Flächenkartogrammen, da diese Darstellungsart die räumliche Kontinuität von Phänomenen erhält und die Möglichkeit besteht Größeneffekte zu visualisieren.

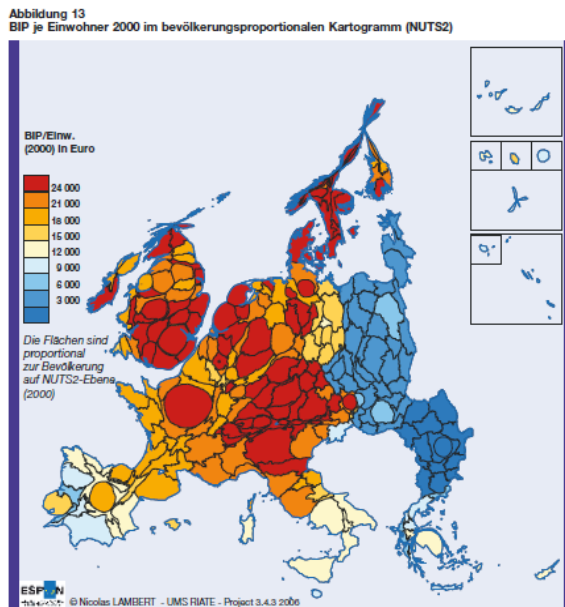


Abbildung 10: Flächenkartogramm

Quelle: GRASLAND, 2009, S.657

Eine dritte Lösungsmöglichkeit ist die Anwendung von Gridding-Methoden. GRASLAND plädiert dafür amtliche Abgrenzungen in Grids verschiedener Größen zu überführen um die Genauigkeit zu verbessern und maßstabsübergreifende Blicke auf die Untersuchungssituation zu ermöglichen. Er bezeichnet Umwandlung von vektorbasierten Gebieten in Grid-Zellen als „der beste Kompromiss zwischen der bestmöglichen Darstellung räumlicher Unterschiede und der Vermeidung von Zuordnungsungenauigkeiten“ (GRASLAND, 2009, S.658). Durch diese Vorgehensweise verschiebt sich der Blickwinkel weg von der Betrachtung lokaler Effekte und administrativer Grenzen, hin zu einem Gesamtmuster, in dem administrative Grenzen keine Rolle spielen. Der Einsatz dieser Methode hängt davon ab in welchem Kontext ein Phänomen untersucht werden soll (regional, national oder supranational).

Als letztem Punkt widmet sich GRASLAND der interaktiven oder dynamischen Kartographie. Dort gibt es die Möglichkeit maßstabsübergreifender Animationen. Durch diese Methode können komplexe Karten vermieden werden. Die Ergebnisse einer Untersuchung würden durch mehrere einfach strukturierte Karten repräsentiert. Komplexe Karten wären nicht notwendig. Als Nachteilig wird es angesehen, dass interaktive Karten im politischen Entscheidungsprozess nicht gewollt sind, da aus Sicht der Entscheidungsperspektive immer eine offizielle Karte erwartet wird (vgl. OPENSHAW, 1984, S.37/38; GRASLAND, 2009, S.654ff).

4 Lösungsansatz

Ein Entscheidungsverfahren beginnt im Idealfall mit der Definition des Entscheidungsproblems um Gefühl und Verständnis für die Aufgabe zu bekommen. Daher sind die nächsten Abschnitte der Problemdefinition gewidmet.

4.1 Problemanalyse

In einer Problemanalyse macht sich ein Entscheider bewusst wie sich ein Problem darstellt und welche Ursachen ihm zugrunde liegen. Des Weiteren stellt sich die Frage wie - mit welchen Methoden und Werkzeugen - das Problem untersucht werden soll.

4.1.1 Problemdefinitor

Das eigentliche Stadtgebiet von Quito kann aufgrund begrenzender Faktoren nur mehr erweitert werden indem neue Siedlungsgebiete im Umland erschlossen werden. Die Stadt wie das Umland liegen in Tälern, umgeben von Bergen und Vulkanen. Die Landschaft ist aufgrund von seismischen Aktivitäten und anderen Naturereignissen der Vergangenheit zerklüftet. Somit wird die Anzahl von Erweiterungsflächen aufgrund von Umweltfaktoren begrenzt. Dort wo Siedlungen gebaut werden, stellen die Bewohner bestimmte Forderungen an die Infrastruktur, die Mobilität und die Versorgung, die für sie von unterschiedlicher Bedeutung und Wichtigkeit sind. Über die Wohnraumeignung einer Fläche entscheiden somit Ausschlusskriterien und Eignungsfaktoren der Daseinsvorsorge, die unterschiedlich stark gewichtet werden. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden in diesem Zusammenhang die Begriffe Restriktionen (Ausschlusskriterien) und Faktoren (Eignungsfaktoren) verwendet.

Für die multikriterielle Eignungsbewertung gilt es herauszufinden welche Restriktionen und Faktoren in Bezug auf die Wohnnutzung berücksichtigt werden müssen, welche Kriterien höher und welche niedriger einzustufen sind.

4.1.2 Umsetzbarkeit

In fast jeder Großstadt gibt es das Problem geeignete Erweiterungsflächen zu finden, die für die Nutzung als Wohnraum erschlossen und genutzt werden können. Seit Jahrzehnten beschäftigen sich Raumplaner mit Methoden und Hilfsmitteln, die sie unterstützend bei der Lösung ihrer Entscheidungsprobleme einsetzen (vgl. Abschnitt 3.4.2).

Zur Einordnung des Problems noch einmal ein Blick zurück auf das eingangs beschriebene Ziel dieser Arbeit: *Mein Ziel ist es herauszufinden, welche der als erschließbar ausgewiesenen Flächen für die Wohnnutzung geeignet sind und wie deren räumliche, qualitative Verteilung ist.*

Die einzelnen Flächen stellen Wahlalternativen dar. Es liegt ein Wahlproblem bzw. Entscheidungsproblem vor, da eine Menge von Flächen(-einheiten) vorliegt, aus der geeignete Flächen ausgewählt werden sollen (vgl. 3.3.2).

Für die Lösung von Entscheidungsproblemen gibt es Entscheidungsverfahren (siehe 3.6). Dies bedeutet, dass das Ziel durch Anwendung von adäquaten Methoden erreicht werden kann.

Eine Problembeschreibung ist erst ausreichend, wenn alle bekannten und relevanten Fakten berücksichtigt worden sind (vgl. 3.3.2.2). Es gehört zu den Aufgaben eines Entscheiders sich zu überlegen welche Daten er benötigt und wie er sie, wo, bekommt.

Vor der methodischen Umsetzung musste geprüft werden, ob ausreichend Fakten (Daten, Informationen) und Hilfsmittel zur Verfügung stehen, die für die Lösungsfindung benötigt wird.

Um zu wissen, welche Methoden und Verfahren sich für die Entscheidungsfindung eignen musste das Entscheidungsproblem charakterisiert werden. Beim angestrebten Ziel, der Eignungsbewertung in Bezug auf den Wohnraum, handelt es sich um ein Einzel-Entscheidungsproblem, welches nur von einer Person bearbeitet wird. Die Anzahl von Alternativen (erschließbare Flächen) ist bei diesem Entscheidungsproblem beschränkt und das Entscheidungsverfahren stellt einen reinen Auswahlprozess dar, weshalb es sich um ein diskretes Entscheidungsproblem handelt. Die Lösung des Problems hängt von verschiedenen Kriterien ab. Wie stark welche der Kriterien für die Bewertung gewichtet werden hängt von den auf die Literatur gestützten Präferenzen des Entscheiders ab. Da es möglich ist diese Präferenzen auf die Kriterien (Attribute) anzuwenden und diese sowohl als Ziel- als auch als Entscheidungsvariablen dienen, handelt es sich eindeutig um ein multikriterielles Entscheidungsproblem, weshalb es sich anbietet für dessen Lösung ein multikriterielles Entscheidungsverfahren anzuwenden. Die Forderung, dass ein solches Verfahren die Wahlmöglichkeit zwischen mindestens zwei Alternativen voraussetzt, ist ebenfalls erfüllt (vgl. Abschnitt 3.7.4).

4.2 Problemrelevante Kriterien und Faktoren

Wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, reduzieren Umweltfaktoren die Anzahl der in Frage kommenden Flächen. Weitere Restriktionen führen zu einer weiteren Reduktion der Flächenanzahl. Restriktionen sind wirtschaftlicher, rechtlicher und technischer Art. Die übrig bleibenden Flächen sind als unterschiedlich geeignet anzusehen. Daher musste festgestellt werden welche Merkmalsgruppen und Eignungskriterien in der Analyse zu berücksichtigen und hinsichtlich ihrer Ausprägung zu untersuchen sind.

Um herauszufinden welche Kriterien in Bezug auf die Wohnnutzung eine Rolle spielen wurde Literatur gesichtet. Es wurde geprüft welche Merkmalsgruppen und Kriterien die einzelnen Autoren bei der Bewertung der Wohnnutzung für wichtig halten. In einer Tabelle (**Anlage 1**) wurden exemplarisch für vier Autoren, die von ihnen genannten Merkmalsgruppen aufgeführt. Eine vergleichende Betrachtung der Autoren zeigt, dass einige Merkmalsgruppen von mehrmals genannt werden, wie die Entfernung zu Wohnfolgeeinrichtungen und Einrichtungen der Daseinsvorsorge, die Verkehrsanbindung oder Umwelteinflüsse. Die übereinstimmenden Merkmalsgruppen wurden in einer zweiten Tabelle zusammengefasst und in einem nächsten Schritt die zu den Merkmalsgruppen gehörenden Kriterien ergänzt. Diese Kriterien wurden in die beiden Kategorien Restriktionen und Faktoren unterteilt.

Ausgewählt wurden Merkmalsgruppen der materiellen und technischen Infrastruktur, der Mobilitätssituation, der Freizeitgestaltung oder der Sozioökonomie. Eine ausführliche Darstellung erfolgte in der Tabelle in **Anlage 2** (Spalten: Merkmalsgruppen und Bewertungskriterien).

Die zur Merkmalsgruppe der immateriellen Infrastruktur gehörenden Wohnfolgeeinrichtungen haben besondere Relevanz für die Wohnnutzung. Deren Vorhandensein und deren Erreichbarkeit bestimmen die Wohnqualität in hohem Maße. Zu ihnen gehören u. a. Versorgungszentren, Bildungs- und Gesundheitseinrichtungen sowie Möglichkeiten der Freizeitgestaltung.

„Einrichtungen sind Anlagen mit beliebiger Trägerschaft, die der Nutzung durch Bewohner der Stadt und durch Besucher dienen“ (DÜCKERT et al., 1977, S.28).

Weitere Ausführungen zur den einzelnen Kriterien und zur Festlegung der Schwellwerte finden sich in den Abschnitten 4.5.7 und 4.5.8.

Ausführliche Recherchen zu den relevanten Kriterien fanden sich bei RÄPPEL, der sich in seiner Dissertation ausgiebig dem Literaturvergleich gewidmet und seine Ergebnisse in Tabellen zusammengestellt hat. Die Recherche der Merkmalsgruppen, Kriterien und

deren Schwellwerte für diese Master Thesis stützte sich im Wesentlichen auf Literatur folgender Autoren: PLATZNER, 2000; RÄPPEL, 1984; WINDE, 1999; SONG, 1998; KISTENMACHER, 1988.

4.3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst die zonalen Verwaltungsgebiete im Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), Ecuador. Die Stadt Quito steht aufgrund ihrer topographischen (Tal-)Lage und des zentralistischen Staatsaufbaus Ecuadors unter besonderem Siedlungsdruck. Der Distrito de Municipalidad de Quito ist gekennzeichnet durch einen kaum mehr besiedelbaren Kern, der das Stadtzentrum und anliegende Bezirke umfasst. Die Möglichkeit der Stadterweiterung besteht aufgrund umliegender Bergketten und Vulkane nur in bestimmte Richtungen. Diese Randbereiche dienen vor allem wohnlicher und agrarischer Nutzung und liegen vor allem im Osten und im Südosten (in Abbildung 11 gelb dargestellt).

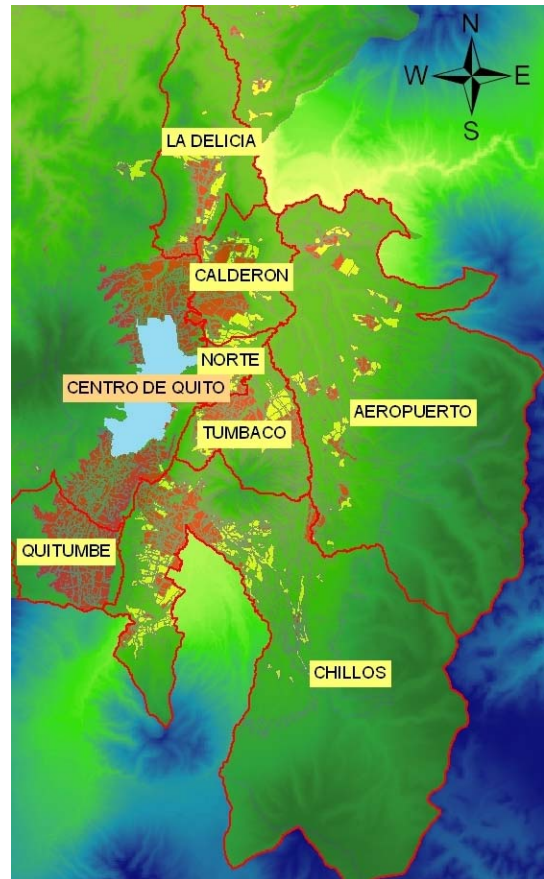


Abbildung 11: Untersuchungsgebiet

Datenquelle: Geocentro USFQ 2010

Arbeitsplatzzentren befinden sich im Geschäftszentrum der Innenstadt (Centro de Quito) und im Bereich des neuen Flughafens (Nuevo Aeropuerto de Quito - NAQ) im Osten. Das Untersuchungsgebiet umfasst die Verwaltungszonen (Parroquias) des DMQ: Quito Norte (Norte, Calderon, Le Delicia), Quito Sur (Quitumbe), Tumbaco, Valle de los Chillos, Nuevo Aeropuerto de Quito (NAQ)

4.4 Konzept

Für die Problemlösung werden geeignete Methoden, Hilfsmittel, Werkzeuge und Informationen benötigt. Bevor auf diese Fragen eingegangen wird, wird an dieser Stelle zunächst das Analysekonzept dargelegt. Im Anschluss daran wird erläutert welche Daten, Informationen, Bewertungs- und Gewichtungsverfahren sowie software-technischen Mittel, wie, eingesetzt wurden.

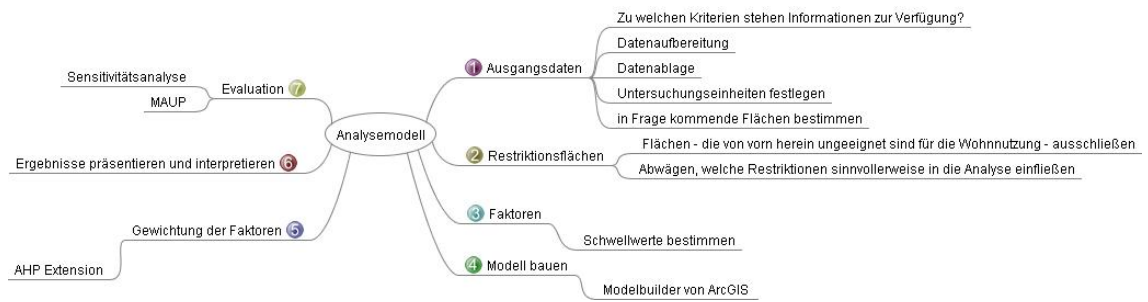


Abbildung 12: Analysekonzept

Zu Beginn der Analyse der Flächeneignung steht die Sichtung der vorliegenden Daten. Hauptaugenmerk wird darauf gelegt, ob ein einheitliches Koordinatensystem vorhanden ist bzw. wie die Daten in ein Einheitliches transformiert werden können sowie die Qualität der Daten. Ebenso wird geprüft zu welchen der bestimmten Bewertungskriterien verwertbare Daten vorliegen.

Mit den vorliegenden und verwertbaren Daten wird ein Model mit dem *Modelbuilder* in *ArcGIS* erstellt. Anhand dieses Modells werden die Restriktionsflächen bestimmt und die spezifische Eignung der in Frage kommenden Flächen ermittelt.

Die Gewichtung der Faktoren zur Eignungsbewertung wird nach der Gewichtungsmethode AHP (siehe Abschnitt 3.10) durchgeführt. Dazu wird in *ArcGIS* eine Extension eingesetzt.

Durch Annahme von verschiedenen Szenarien wird eine Sensitivitätsanalyse des Analysemodells durchgeführt auf das MAUP eingegangen. Die Ergebnisse jedes Szenarios werden in einer Übersichtskarte präsentiert. Zur Betrachtung der Auswirkungen von veränderten Inputparametern auf die Ergebnisse werden die Ergebnisse interpretiert. Am Ende erfolgt eine Zusammenfassung der Resultate und Beobachtungen.

4.5 Methodische Umsetzung

Nachfolgend wird beschrieben wie bei der methodischen Umsetzung des Konzepts vorgegangen wurde.

4.5.1 Flächenalternativen und Untersuchungseinheiten

Der Plan *Plan de uso y ocupacion del suelo* (PUOS) wurde von einer Abteilung der Stadtverwaltung von Quito (La Secretaría de Territorio) verfasst, welche für die Erschließung und Verwendung der Stadtfächen zuständig ist.

In diesem PUOS sind die vorhandenen Flächen in die drei Klassen, erschließbar, erschlossen und nicht erschließbar, eingeteilt. Dieser Plan diene als Grundlage für die Bestimmung der in Frage kommenden Flächen für die Wohnnutzung im Bereich des Untersuchungsgebiets.

Ausgeschlossen wurden Flächen, welche in diesem Plan als *no urbanizable* (nicht erschließbar/bebaubar) ausgewiesen sind. Dazu zählen natürliche Ressourcen (erneuerbare und nicht erneuerbare), Schutzgebiete, Einsiedlerhöfe und erhaltenswerte Agrarflächen. Flächen, welche als *suelo urbano* ausgewiesen sind, also als bereits erschlossene Gebiete, wurden ebenfalls von der Analyse ausgeschlossen. Übrig blieben Flächen mit der Bezeichnung *suelo urbanizable* - Flächen die für eine Erschließung in den Jahren 2011 bis 2020 vorgesehen sind.

In Tabelle 01 wurde aufgelistet wie viel Fläche zur Erschließung nach dem PUOS vorgesehen ist: Die zur Erschließung ausgewiesene Fläche umfasst 10109,78 ha.

Gesamtfläche:	4230102953,91 m ² = 423010,30 ha
Erschlossene Fläche bis 2010:	3808144846,94 m ² = 380814,48 ha
Erschließbare Flächen bis 2020:	101097821,59 m ² = 10109,78 ha

Tabelle 01: Flächenübersicht PUOS

Die Rasterweite der Untersuchungseinheiten wurde auf 30m festgelegt. Dieser Wert wurde aufgrund der Auflösung von 30x30m des Digitalen Geländemodells (DGM) gewählt. Jede dieser Rasterzellen entspricht bei einer Rasterweite von 30m einer Fläche von 900m². An dieser Stelle sei auf den Abschnitt 3.11.2 dieser Arbeit verwiesen, in dem erläutert wurde wie die Rasterweite das Ergebnis einer Analyse beeinflusst (*Modifiable Area Unit Problem*).

4.5.2 Projektkoordinatensystem

Als Projektkoordinatensystem wurde die kartesische UTM Abbildung des World Geodetic System 84 (WGS 84) auf den Meridian -78,5° gewählt. Der UTM Abbildung liegt eine Transversale Mercator Projektion zugrunde. Normalerweise erfolgt eine Abbildung für Ecuador auf den Zentralmeridian -81,0° der Zone 17. Dies führt aber zu Verzerrungen für dem Gebiet des Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), der in diesem Fall am Rand der Zone liegen würde.

Da den Daten teils verschiedene Bezugssysteme (PSAD, WGS84) zugrunde lagen oder mit unterschiedlichen Projektionen verebnet wurden, waren Transformationen

notwendig, um ein einheitliches Projektkoordinatensystem zu schaffen. Dafür wurde auf die Toolbox von *ArcGIS* zurückgegriffen.

4.5.3 Software

„Informationen bezeichnen zweckorientiertes Wissen. Der für den Entscheidungsträger relevante Informationsstand kann durch Zugang neuer - auch durch den praktischen Einsatz von multikriteriell ausgerichteten Entscheidungsstützungsverfahren gewonnener - Informationen erhöht werden. Der Wert der Zusatzinformation hängt von deren Relevanz, Zeitigkeit und Genauigkeit ab“ (WEBER, 1993, S.8).

Für die Aufbereitung der Daten und für die Erstellung des Entscheidungsmodells wurde die GIS Software *ArcGIS Desktop 9.3.1* der Firma ESRI und die Extensions *Network Analyst*, *Spatial Analyst* und *3D Analyst* eingesetzt. Hilfreich ist der *Modellbuilder*, der es ermöglicht einzelne Analyseschritte zu einem Modell zusammenzufügen. Der Vorteil liegt darin, dass die Analyse beliebig oft mit veränderten Variablen wiederholt werden kann. Dies erleichtert die Erstellung des Modells sowie die Durchführung von Evaluationsverfahren.

Für die Gewichtung der Kriterien wurde die Extension *AHP 1.1 – Decision support tool for ArcGIS* verwendet, welche von dem Entwickler Oswald Marinoni programmiert wurde. Diese Extension unterstützt die Gewichtung nach der AHP-Methode. Resultate werden als Eignungskarten dargestellt. Einschränkungen gibt es in Bezug auf Anzahl der gleichzeitig zu gewichtenden Kriterien, die bei 20 liegt, und sie ist nur anwendbar auf Raster deren Zellen Integerwerte beinhalten.

4.5.4 Datenqualität

Bei einer Analyse spielt die Qualität der Eingangsdaten eine entscheidende Rolle. Daher folgt an dieser Stelle ein Exkurs zu dieser Thematik.

„The accuracy of a GIS largely depends on the scale and resolution of the maps, satellite imagery, and other data sources and techniques used to create the GIS Data sets“ (MALCZEWSKI, 1999, S.23).

Fehlerfreiheit, der Erfassungsmaßstab und somit eine angemessene Auflösung sind für die Qualität der Daten entscheidend. Es gibt zwar Methoden, welche es im Nachhinein ermöglichen Datenfehler zu korrigieren oder zu verbessern, jedoch können diese Daten nie besser sein als jene, bei denen schon bei der Erfassung die notwendig Sorgfalt an

den Tag gelegt wurde. Es hängt von den spezifischen Anforderungen der Analyse ab, welche Genauigkeit bei der Erfassung anzusetzen ist.

Für den Daten-Output werden in der Literatur zwei Kategorien genannt. Die Präsentation in Form von Karten und Tabellen sowie der Datentransfer samt Dokumentation in den Metadaten. Besonders die letzten beiden Punkte sind von Bedeutung, wenn es darum geht verarbeitete und analysierte Daten anderen Nutzern zugänglich und nutzbar zu machen (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.22ff).

4.5.5 Sichtung und Aufbereitung der Daten

Die Daten für diese Master Thesis wurden vom Geodatenzentrum (Geocentro) der Universität San Francisco de Quito (USFQ) zur Verfügung gestellt. Nach dem Sichten wurden die Daten geordnet, und geprüft zu welchen der im Abschnitt 4.2 bestimmten Merkmalsgruppen und Bewertungskriterien Daten zur Verfügung stehen. In der Tabelle in **Anlage 2** ist aufgeführt zu welchen Kriterien Daten vorhanden waren. Die Daten lagen, bis auf das Digitale Geländemodell, alle als Vektordaten vor.

Teilweise mussten Daten aufbereitet werden:

- Straßengraph: Berichtigung von Fehlern in der Geometrie. Berechnung der Zeit in Minuten: Innerorts wurde eine fahrbare Geschwindigkeit von 40 km/h angenommen, außerhalb 70km/h.
Berechnungsformel für die Fahrzeit: $\text{Minutes} = [\text{Length} / (1000 * 40)] * 60$; Die Abschnittslänge (Length) war gegeben.
- Aufbereiten der Shapes, welche die Faktoren beinhalten:
Das Shape *edificios* beinhaltete sämtliche Wohnfolgeeinrichtungen. Diese wurden für die Analyse durch Extraktion separiert und jeder Faktor in ein eigenes Shape gespeichert.
- Arbeitsplatzzentren: Als Arbeitsplatzzentren im Großraum Quito sind die Innenstadt von Quito (Centro funcional de Quito) und der Bereich des neuen Flughafens (Nuevo Aeropuerto de Quito NAQ) als Zielpunkte anzusehen. Hierbei wurden nach der Definition von PLATZNER (2000, S.15) die „Zielpunkte als Mittelpunkte der Zentralen Orte definiert“.
- Einige der Daten gingen über das Untersuchungsgebiet hinaus. Es erschien mir sinnvoll diese Daten durch einen *Clip* auf den Untersuchungsraum zu begrenzen um die Rechnerressourcen bei der Modellerstellung zu schonen.

4.5.6 Datenhaltung

Daten werden von den meisten GI Systemen in einer Datenbank vorgehalten. Dadurch sollen Daten redundanzfrei bleiben. Durch Verwendung einer Datenbank lassen sich Datensätze ohne Umstände erweitern, updaten, auffinden und der gleichzeitige Zugriff von verschiedenen Anwendern ist gewährleistet (vgl. MALCZEWSKI, 1999, S.25).

Für die Datenablage fiel die Entscheidung gegen die Verwendung einer durch *ArcGIS* unterstützten Geodatenbank (geodatabase) und für die Datenablage in einer Verzeichnisstruktur (Abbildung 13), da nur von einem einzigen Nutzer auf die Daten zugegriffen wird. Durch Nutzung verschiedener Verzeichnisse für die Eingangsdaten (grunddaten), die Zwischenergebnisse (intermediate) und die Ergebnisdaten (resultate) war es möglich die Daten redundanzfrei zu halten.

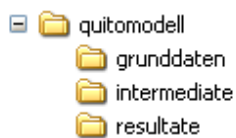


Abbildung 13: Datenablage

4.5.7 Schwellwertfestlegung

Ergänzend zu Abschnitt 4.2 wird an dieser Stelle erläutert nach welchen wissenschaftlichen Arbeiten und Fallbeispielen die Schwellwerte für die Analyse festgelegt wurden. Auf ergänzende spezifische Festlegungen und gegebenenfalls Variationen von Schwellwerten wird im Abschnitt 4.5.8 eingegangen, wo die Vorgehensweise zur Eignungsbewertung von Flächen beschrieben wird.

Im Bereich der entfernungsabhängigen Eignungsbewertung gibt es eine Reihe von literarischen Arbeiten, Untersuchungen und Fallbeispielen. Autorenübergreifend bewegen sich die in den Arbeiten angegebenen Schwellwerte für Faktoren innerhalb enger Schwankungsbereiche. Einige Autoren haben die Schwellwerte selbst festgelegt, andere führten vorher einen Literaturvergleich durch. Hier ist insbesondere RÄPPEL (1984) zu nennen, der einen ausführlichen Literaturvergleich in Bezug auf die Schwellwerte anführt. Auf ihn bezieht sich beispielsweise WINDE (1999) explizit in seinem Beitrag *Die Beurteilung der Wohnqualität in Städten* im Buch *GIS in der Stadtentwicklung* von KILCHENMANN et al. Aus diesen Gründen wurde bei der Festlegung der Schwellwerte für diese Arbeit im Wesentlichen auf die von RÄPPEL verwendeten Richtwerte zurückgegriffen. Wie die Einteilung der Klassen und ihrer Schwellwerte erfolgten ist in der Tabelle in **Anlage 2** aufgeführt.

RÄPPEL verwendet eine Systematik für die Klassifizierung von Faktoren. Er legt einen Richtwert fest, beispielsweise beträgt dieser für die Entfernung zur nächsten Schule 500m. Diesen Richtwert erhält er durch Vergleich von Arbeiten verschiedener Autoren. Überschreitet die Entfernung eines Wohnhauses zur Schule die Richtentfernung um weniger als 10%, so gilt das Wohnhaus als *gut versorgt*. Beträgt die Überschreitung maximal 40% spricht RÄPPEL von *gesicherter Versorgung*. Alle Werte die darüber liegen gelten bei ihm als *schlecht versorgt*. Seiner Systematik wurde für die vorliegende Analyse gefolgt, jedoch mit einer Erweiterung. Es wurde eine weitere Klasse eingeführt. 40% vom Richtwert (500m) entsprechen beispielsweise 200m. Dieser Wert wurde auf die zweite Eignungsstufe aufgeschlagen. Eine Überschreitung des Richtwerts zwischen 40 und 80% bedeutet in dieser Analyse *wenig geeignet*, jedoch *noch akzeptabel*. Da sich die Richtwerte in der Literatur vorwiegend auf westeuropäische Standards und Versorgungssituationen beziehen ist es gerechtfertigt bei einem Entwicklungsland wie Ecuador die Toleranzgrenze zu erweitern und eine weitere Klasse einzuführen. Folgendermaßen sieht beispielsweise die Klasseneinteilung für die Richtwertentfernung Wohnhaus - Schule von 500m aus:

>940m	0 = ungeeignet	Richtwert + >40%
720-940m	1 = wenig geeignet	Richtwert + >40%<80%
550-720m	2 = geeignet	Richtwert + 10-40%
0-550m	3 = vorzüglich geeignet	Richtwert + <10%

Mit den Schwellwerten für die weiteren Faktoren wurde auf dieselbe Weise verfahren, natürlich mit faktorenspezifischen Richtwerten (vgl. RÄPPEL, 1984, S.100ff). Für die Übersicht aller Schwellwerte und Kriterien sei auf **Anlage 2** verwiesen.

4.5.8 Modellerstellung

Das Analysemodell besteht aus zwei Teilen. Es erfolgt die Bestimmung der Restriktionsflächen bzw. grundsätzlich erschließbaren Flächen und die gewichtete Eignungsbewertung für jede Untersuchungseinheit (siehe 4.5.9 und 4.5.10). Abschließender Schritt ist die Aggregation der beiden Teilergebnisse. Die Gewichtung der Faktoren ist ein Zwischenschritt auf dem Weg hin zu einer Eignungskarte und wird unter 4.5.11 behandelt. Ein Überblick der an der Analyse beteiligten Kriterien findet sich in **Anlage 2** und im Modelldiagramm in **Anlage 3**.

Für die Arbeiten mit dem Modell im *Modelbuilder* von *ArcGIS* wurde eine Nomenklatur erstellt. Die Namen von Ergebnissen und Zwischenergebnissen dürfen

maximal 13 Zeichen lang sein, da längere Bezeichnung für die Datenlayer zu Problemen im Programmablauf von *ArcGIS* führen können.

Für die Benennung der Layer der Zwischen- und Endergebnisse wurden folgende Buchstaben festgelegt:

clipped	c	Begrenzung auf Untersuchungsraum
to raster	tr	Überführung von Vektor in Rasterformat
classified	k	Klassifizierung
reclassified	rc	neu klassifiziert
temporär	t	Zwischenergebnis
binär	bin	Einteilung in geeignet (1) und ungeeignet (NoData)
gewichtet	g	Gewicht wurde auf Feature angewandt
ergebnis	e	Endergebnis
location	l	Punktobjekte wurden der Service Area hinzugefügt
ringpolygon	ring	Entfernungspolygone berechnet (Vektorpolygon)

Tabelle 02: Nomenklatur

Im Folgenden werden Ausschnitte (Snapshots) des Modells, welches in *ArcGIS* mit Hilfe des *Modelbuilders* erstellt wurde, zum besseren Verständnis aufgeführt. Eine Darstellung des gesamten Modells befindet sich aufgrund seiner Größe in den **Anlagen 4 und 5**.

4.5.9 Restriktionsflächen

Erstellen von Rasterschablonen mit Restriktionsflächen:

Wie im Abschnitt 4.5.1 erwähnt, gibt es in der Datengrundlage, dem *PUOS Shape*, die Klasse *nicht erschließbar*. Durch Überlagerung mit den Shapes von Wasserschutz- und Naturschutzgebieten konnte festgestellt werden, dass diese bei der Erstellung des Entwicklungsplans (PUOS) bereits als nicht erschließbar klassifiziert wurden und diese somit nicht mehr berücksichtigt werden mussten.

Bei der Überlagerung der Flächen mit den seismischen Intensitätszonen zeigte sich, dass das komplette Untersuchungsgebiet in ein und derselben Zone liegt. Eine Berücksichtigung dieser Information war somit weder bei den Restriktions- noch bei den Eignungsflächen notwendig, da aus diesem Kriterium keine Beeinflussung der Eignung zu erwarten ist.

Im PUOS waren die Kriterien Hangneigung, Weideland, Nutzpflanzenanbauflächen, Waldgebiete, Überschwemmungsgebiete sowie Vulkanische Gefahrenzonen noch nicht eingearbeitet.

Die Hangneigung gilt sowohl als Restriktion als auch als Faktor. Nach KISTENMACHER (1988, S.68) steigen mit der Hangneigung die Erschließungskosten, die sich aus den Kosten für den Ausbau der Straßen, der Ver- und Entsorgung sowie für absichernde Maßnahmen, wie z. B. Stützmauern, zusammensetzen. Seinen Angaben zufolge ist Gelände mit einer Steigung von 30% nicht mehr für eine Bebauung geeignet. Umgesetzt auf das vorliegende Raster bedeutet dies, dass alle Rasterzellen mit einer Steigung >30% den Wert *NoData* erhielten. Für die Berechnung wurden Prozentangaben in Gradangaben umgerechnet (siehe Tabelle **Anlage 2**).

Die beiden folgenden Abbildungen stellen den Berechnungsweg für die Hangneigung im Modell dar.

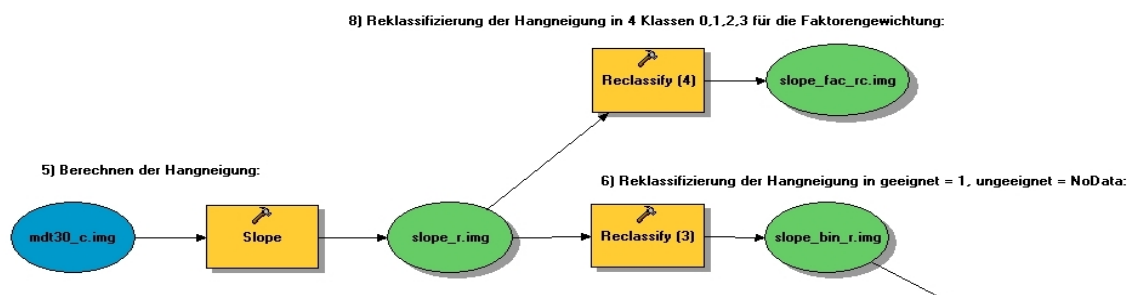


Abbildung 14: Modellausschnitt Restriktionen

Ausgehend vom Digitalen Geländemodell wurde die Hangneigung berechnet und dann eine Neuklassifizierung vorgenommen. Einmal für die Hangneigung als Restriktion und einmal als Faktor.

Old values	New values	Old values	New values
0 - 5,7	1	0 - 5,7	3
5,7 - 11,3	1	5,7 - 11,3	2
11,3 - 16,7	1	11,3 - 16,7	1
16,7 - 67,78	NoData	16,7 - 67,78	0
NoData	NoData	NoData	0

Abbildung 15: Neuklassifizierung der Hangneigungswerte

Wie in der linken Tabelle zu sehen ist, bekommen alle Rasterzellen mit einem Hangneigungsgrad von >16,7° bei der Neuklassifizierung (*Reclassify (4)* Abbildung 15) den Wert *NoData*. Alle Rasterzellen <16,7° erhalten den Wert 1 und werden somit als *geeignet* klassifiziert.

In der rechten Tabelle ist die Neuklassifizierung für den Faktor Hangneigung dargestellt. Eine Steigung bis 10% ($5,7^\circ$) bedeutet *vorzüglich geeignet*, die nächste Klasse *geeignet*, und die dritte Klasse *wenig geeignet*. Die restlichen Rasterzellen bekommen den Wert 0. Dadurch wird gewährleistet, dass diese bei der späteren Aggregation der gewichteten Eignungsfaktoren keine Rolle spielen. Bei diesem Auswahlbeispiel stellt sich natürlich die Frage, ob es notwendig ist allen Werten über $16,7^\circ$ den Wert 0 zu geben und diese bei der Analyse *mitzuziehen*, da diese am Ende der Analyse bei der Verschneidung der Restriktionsflächen mit den eignungsbewerteten Flächen sowieso eliminiert werden? Dem Autor dieser Arbeit erschien diese Art der Handhabung am praktikabelsten, und es wurden keine negativen Auswirkungen auf das Modell und die Ergebnisse festgestellt.

Erstellen eines Restriktionsrasters aus den einzelnen Rasterschablonen:

Für die Restriktionen Überschwemmungsgebiete, Gebiete vulkanischer Aktivität sowie landwirtschaftliche Nutzflächen wurde für alle mit einem Wert belegten Rasterzellen der Wert *NoData* vergeben und den bis dahin den Wert *NoData* enthaltenden Rasterzellen der Wert 1, wie in nachfolgender Abbildung zu sehen ist.

Old values	New values
0	NoData
1	NoData
2	NoData
NoData	1

Abbildung 16: Neuklassifizierung Überschwemmungsgebiete

Im Ausgangsdatensatz gab es drei Klassen unterschiedlicher Überschwemmungsintensität. Es wurde grundsätzlich als falsch angesehen innerhalb eines Überschwemmungsgebiets, ganz gleich welcher Intensität, zu bauen oder zu wohnen. Da in der Literatur keine Empfehlungen zu Schwellwerten vorlagen und auch keine spezifischen Angaben, wie Niederschlagsmengen, in den Daten vorhanden waren, wurden alle in einem Überschwemmungsgebiet gelegenen Flächen als *ungeeignet* betrachtet.

Die Informationen für Weideland, forstwirtschaftliche Flächen und Erosionsflächen waren in einem Datenshape zusammenfasst. In diesem Fall wurde nur Weideland und forstwirtschaftliche Flächen als *ungeeignet* klassifiziert, unter der Annahme, dass diese Flächen besser zur Bewirtschaftung als für die Wohnnutzung geeignet sind. Erodierete Flächen wurden als geeignet für die Wohnnutzung angesehen, da erodierter Boden einer Bebauung nicht grundsätzlich entgegensteht.

Resultat:

Für jede Restriktion (Ausschlusskriterium) lag am Ende dieser Teilanalyse eine Rasterschablone vor, deren für die Wohnnutzung eingestufte Rasterzellen entweder den Wert *NoData* oder den Wert 1 besaßen.

Durch Multiplikation mit dem Tool *Times* des *Raster Calculator* in der *ArcToolbox* entstand ein Raster in dem alle Restriktionen berücksichtigt worden sind.

Ein Beispiel zur Veranschaulichung findet sich in Abbildung 17. Durch Multiplikation erschließbarer Flächen aus PUOS (blau) und geeigneten Flächen aus dem Shape Überschwemmungsgebiete/Vulkane (grün), entsteht ein neues Raster (magenta) aus den Schnittflächen, welche als geeignet klassifizierte Rasterzellen darstellen.

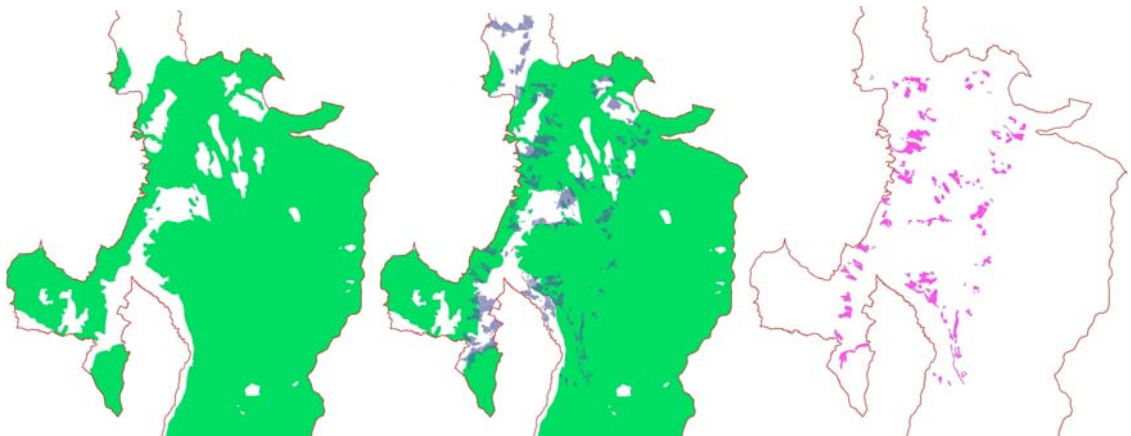


Abbildung 17: Beispiel Flächenausschluss

Datenquelle: Geocentro USFQ 2010

Das Ergebnisraster der Eignungsbewertung wird am Ende mit dem Ergebnisraster der Restriktionsanalyse, mit dem oben erwähnten Tool *Times* des *Raster Calculator*, multipliziert. Übrig bleiben eignungsbewertete Rasterzellen, die keiner Restriktion unterliegen.

Anmerkungen:

Nach den ersten Modellläufen mit den Restriktionsflächen wurde die Beobachtung gemacht, dass ein Großteil der für die Wohnnutzung in Frage kommenden Flächen gleich zu Beginn der Analyse stark reduziert wird, wenn landwirtschaftliche Flächen, Weideland sowie forstwirtschaftliche Flächen als nicht geeignet klassifiziert werden. Da es keine Vorgaben gab nach welchen Kriterien beispielsweise landwirtschaftliche Nutzflächen als *geeignet/nicht geeignet* zu klassifizieren sind, wurden diese bei der Restriktionsanalyse nicht berücksichtigt. Die Konsequenz aus dieser Entscheidung war, dass der Flächenausschluss geringer ausfiel, als wenn die ebene genannten

Restriktionen in das Modell mit einfließen. Die Funktionsweise des Modells wurde nicht beeinträchtigt, die Anwendung der Methodik konnte trotzdem aufgezeigt werden und hatte für diese Arbeit den Vorteil, dass das Modell übersichtlicher war und für die Visualisierung der Ergebnisse ein größerer Flächenanteil übrig blieb. In folgender Tabelle sind die Flächenangaben nach den ersten Modellläufen zu sehen. Am Ende blieben 5013 ha Flächen zur Verfügung, die einer Eignungsbewertung unterzogen werden konnten.

Berücksichtigte Restriktionen	Flächen (ha)
PUOS (erschließbare Flächen), Überschwemmungsgebiete/Vulkane, landwirtschaftliche Flächen, Weideland, forstwirtschaftliche Flächen	1480,23 ha
PUOS (erschließbare Flächen), Überschwemmungsgebiete/Vulkane, Weideland, forstwirtschaftliche Flächen	4748,04 ha
PUOS (erschließbare Flächen), Überschwemmungsgebiete/Vulkane, landwirtschaftliche Flächen	1575,27 ha
PUOS (erschließbare Flächen), Überschwemmungsgebiete/Vulkane	5013,00 ha

Tabelle 03: Flächenangaben

4.5.10 Eignungsbewertung durch die Faktoren

Ähnlich wie beim Ausschluss von Restriktionsflächen wurde das Modell für die Netzwerkanalyse so gestaltet, dass als Endergebnis Rasterschablonen vorlagen, deren Rasterzellen in Bezug auf die Entfernung zu einem spezifischen Objekt klassifiziert wurden. Der Unterschied bestand darin, dass die Werte für die Rasterzellen nicht aufgrund von Eigenschaften oder Nutzungen, sondern im Verhältnis der Entfernungen zu bestimmten Einrichtungen bestimmt wurden.

Das Analysenetzwerk wurde durch das Straßennetz von Quito und Umgebung repräsentiert. Mit dem Tool *NetworkAnalyst* wurde ein *NetworkDataset* (Netzwerk) in *ArcGIS* erstellt. Die Erstellung von Rasterschablonen wird im Folgenden am Beispiel eines ausgesuchten Faktors aufgezeigt. Die in Abbildung 18 aufgeführten Snapshots zeigen links eine *ServiceArea* (Einzugsgebiet) für den Faktor *Entfernung zu weiterführenden Schulen* (Colegios), bestehend aus Vektorpolygonen und rechts neu klassifizierte Rasterpolygone. Die Einzugsgebiete stellen die Entfernung von oder zu einem Objekt nach Klassen dar. In diesem Fall ist die Entfernung zu den Colegios dargestellt.

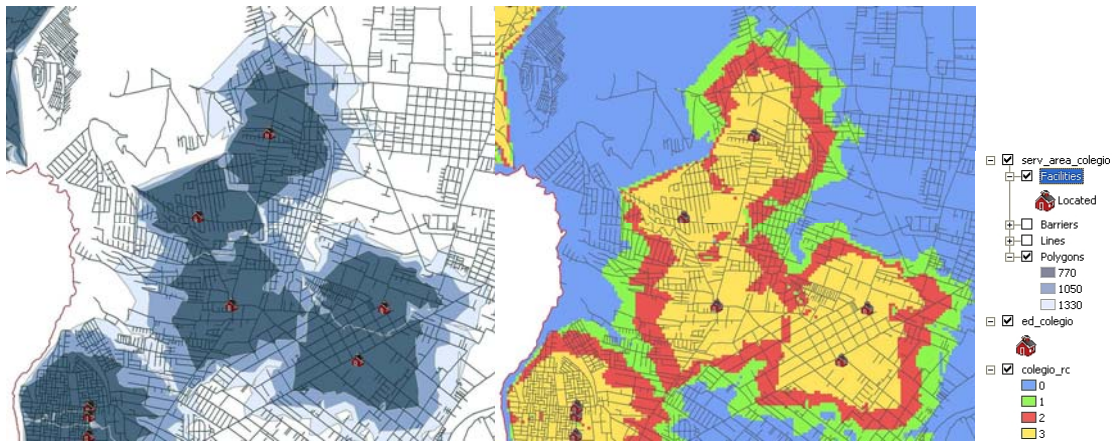


Abbildung 18: Beispiel Service Area

Datenquelle: Geocentro USFQ 2010

Folgende Arbeitsschritte wurden bei der entfernungsabhängigen Bewertung (Netzwerkanalyse) vollzogen (Abbildung 19):

- 1) Erstellen eines Einzugsgebiets (*ServiceArea*)
- 2) Hinzufügen der Orte (*Locations*)
- 3) Berechnung der Entfernungspolygone (*Polygonrings*)
- 4) Konvertierung von Vektor nach Raster (*ToRaster*)
- 5) Neuklassifizierung (*Reclassify*)

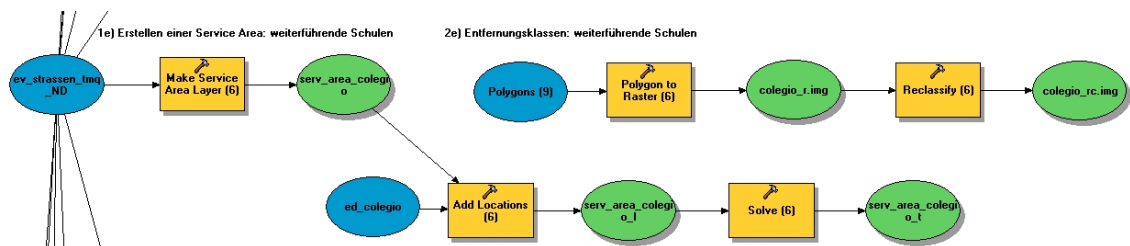


Abbildung 19: Modell Netzwerkanalyse

Die Neuklassifizierung lief analog zum Beispiel mit der Hangneigung. Am Ende stand ein Raster mit vier Klassen. Zur Veranschaulichung siehe Abbildung 20. Je kleiner die Distanz - je näher eine Einrichtung, desto höher die Klasse.

Old values	New values
770	3
980	2
1260	1
NoData	0

Abbildung 20: Beispiel Service Area

Für jede Einrichtung wurde eine Rasterschablone erstellt. Um aus diesen vielen Schablonen eine aggregierte Eignungskarte zu erstellen, in welcher die Erreichbarkeit der jeweiligen Einrichtung und die Wichtigkeit der Einrichtungen untereinander

berücksichtigt werden, wurde nach der Methode des *Analytic Hierarchy Prozess* (AHP) vorgegangen.

4.5.11 Gewichtete Aggregation der Eignungswerte

Die Gewichtung nach der AHP-Methode wurde zweistufig durchgeführt. Zunächst wurden die Rasterschablonen der Merkmalsgruppe materielle Infrastruktur/ Wohnfolgeeinrichtungen (vgl. Modelldiagramm **Anlage 3**) miteinander kombiniert und gewichtet. Als Zwischenergebnis lag ein kontinuierliches Eignungsraster mit Werten zwischen 0 und 3 vor.

Unterstützend durch die Abbildungen 21 und 22 wird in folgendem Abschnitt die Funktionsweise der *AHP-Extension* erläutert.

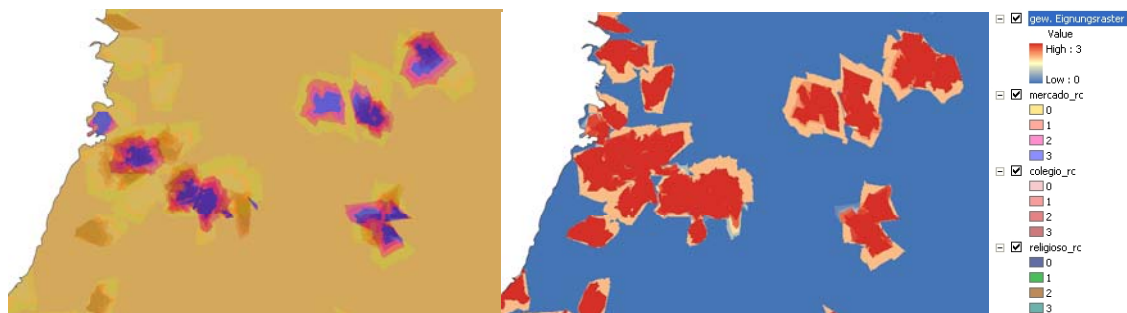


Abbildung 21: Beispiel gewichtete Aggregation

Datenquelle: Geocentro USFQ 2010

In Abbildung 21 links sind die übereinander gelegten Entfernungsringe für die drei Faktoren weiterführende Schulen (*colegios_rc*), religiöse Einrichtungen (*religioso_rc*) und Nahversorgung (*mercado_rc*) zu sehen. Rechts ist das Ergebnis der gewichteten Aggregation dargestellt - eine kontinuierlich abgestufte Eignungskarte.

Für dieses Beispiel wurden drei Faktoren, die nach dem Kriterium der Erreichbarkeit klassifiziert wurden, ausgewählt. Beim Start des *Extensionwizards* können diese ausgewählt und umbenannt werden.

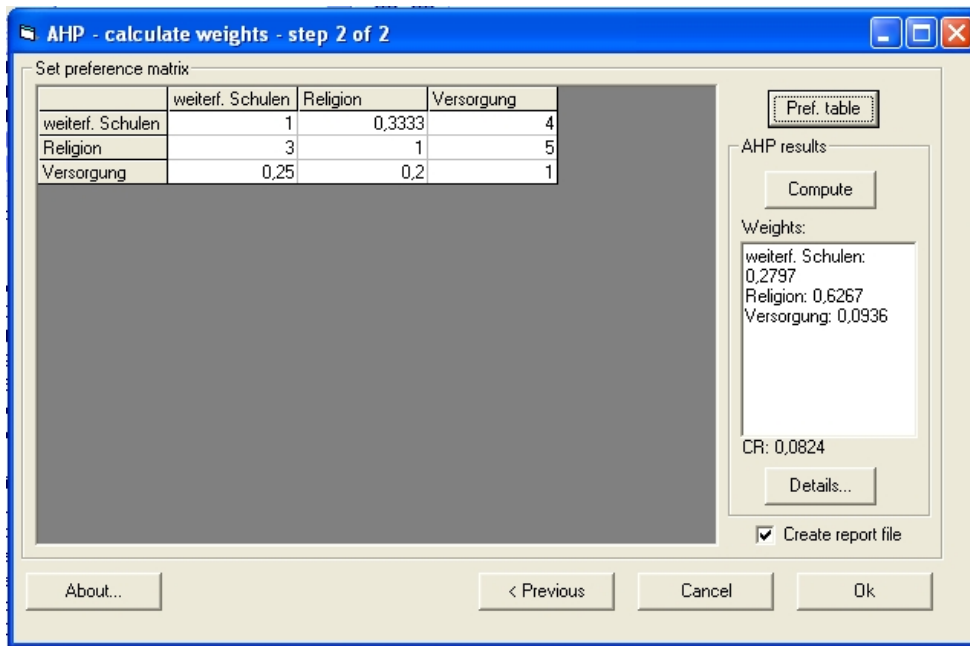


Abbildung 22: Beispiel Gewichtungsmatrix AHP-Extension

In die Matrix sind vom Anwender die paarweisen Verhältnisse einzutragen. Die Gewichtung erfolgt nach folgender Verhältnisskala:

Skalenklassen	Bewertung
1	gleich
3	etwas größer
5	wesentlich größer
7	viel größer
9	sehr viel größer

Tabelle 04: Verhältnisskala

In Abbildung 22 wird dargestellt, wie beim paarweisen Vergleich die Erreichbarkeit von weiterführenden Schulen als *etwas wichtiger bis wesentlich wichtiger* als die Erreichbarkeit von Einrichtungen der Nahversorgung eingestuft wurde. Es reicht eine Seite der Matrix auszufüllen, die andere Seite wird reziprok automatisch generiert. Über den Button *Compute* werden die Eigenvektoren und der Konsistenzindex CR berechnet. Liegt CR unter einem bestimmten Wert (0,1), wie ihn SAATY (1994) vorgibt, kann die Gewichtung als homogen angesehen werden.

Nach dem gleichen Schema wurde bei den anderen beiden Merkmalsgruppen (überörtliche Verkehrsanbindung, wirtschaftliche Faktoren) verfahren. Hier handelte es sich jedoch um Sonderfälle, da beide jeweils nur durch einen Faktor repräsentiert wurden. Die beiden Faktoren bekamen für die Ebene der Faktoren jeweils das Gewicht 1. Auf Ebene der drei Merkmalsgruppen wurde eine zweite Gewichtung mit der *AHP*-

Extension durchgeführt. Beteiligt waren das gewichtete Eignungsraster der materiellen Infrastruktur/Wohnfolgeeinrichtungen und die beiden klassifizierten Rasterschablonen für die Erreichbarkeit der Arbeitsplatzzentren (Entfernung in Minuten) und der Hangneigung (Steigung in Grad).

Das Ergebnis der ersten Gewichtung musste gerundet werden (Abbildung 23 oberes Modellelement), da die *AHP-Extension* nur Integerwerte verarbeiten kann. Dies führt zu einer geringfügigen Veränderung der Werte, muss aber so hingenommen werden. Es handelt sich um ein generelles Problem bei GI Systemen. Dort sind „nur die gängigen Datentypen („real“, „integer“ und „character“) eingeführt“. Es besteht ein Mangel an unzureichender Kompatibilität von Datentypen und Skalenniveaus“ (SCHWARZ-v.RAUMER, 1999, S.59).

1) Rundung der Gewichtungsergebnisse der Merkmalsgruppe Wohnfolgeeinrichtungen



2) Multiplikation der gewichteten Flächen mit den als bebaubar bestimmten Flächen:

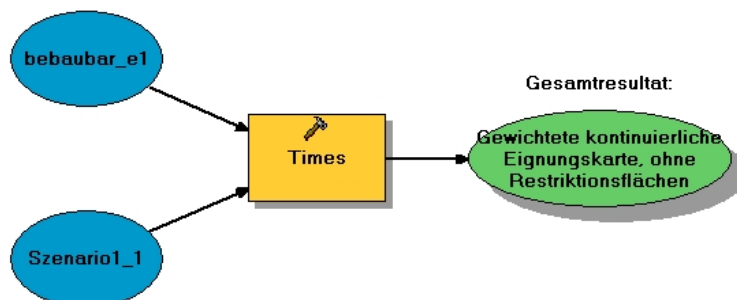


Abbildung 23: Zwischenschritt und Zusammenbringen der Teilergebnisse

4.5.12 Zusammenführen der Teilergebnisse

Letzter Schritt der Analyse war die Vereinigung des Eignungsrasters der Faktorenbewertung mit dem Ergebnisraster der Restriktionsanalyse. Wie in 4.5.9 beschrieben, wurden dazu die beiden Ergebnisraster mit dem Tool *Times* des *Raster Calculator* multipliziert. Die Modellstruktur für diesen Schritt siehe Abbildung 22 unteres Modellelement.

Wie aus Abbildung 24 hervorgeht, bleibt als Endresultat (rechts) eine von Restriktionen freie Eignungskarte übrig, die einem Ranking der Rasterflächen nach ihrer Eignung für die Wohnnutzung entspricht. Im linken Teil der Abbildung stellen die grünen Rasterzellen die als restriktionsfrei und somit als bebaubar klassifizierten Flächen dar.

Gut zu erkennen ist hier wie die blauen Rasterzellen mit dem Eignungswert 0 durch die Verschneidung bzw. Multiplikation eliminiert werden. Ebenso wird die Anzahl der eignungsbewerteten Rasterzellen (rot bis hellrot) aufgrund von Restriktionen (nichtgrün) reduziert.

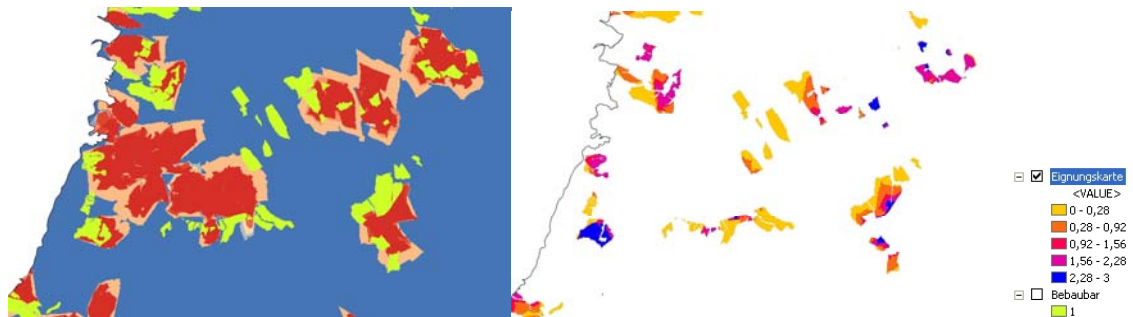


Abbildung 24: Beispiel Endresultat - Eignungskarte

Datenquelle: Geocentro USFQ 2010

4.5.13 Evaluierung

Zur Evaluierung des Modells wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Zur Prüfung der Robustheit des Modells wurden ausgehend von einem Basisszenario weitere Szenarien erstellt, bei denen die Gewichtung variiert, die Anzahl der Klassen verändert, die Höhen der Schwellwerte verändert und Faktoren weglassen wurden. Die Szenarien wurden in Abschnitt 5 festgelegt, die Ergebnisse interpretiert und diskutiert. In einem Szenario wurde die Analyse mit veränderter Rasterweite durchgeführt, um die Einflüsse des *Modifiable Area Unit Problems* zu untersuchen..

5 Analyse

Jede Analyse bestand aus zwei Teilmodellen (Netzwerkmodell, Restriktionsmodell). Es fanden dabei jeweils drei Aggregationen statt. Zwei im Zuge der Gewichtung nach der AHP-Methode auf Ebene der Merkmalsgruppen und auf Ebene der Faktoren (vgl. Diagramm **Anlage 3**) sowie eine beim Zusammenführen der Ergebnisraster aus den beiden Teilmodellen. Die Teile des Analysemodells wurden mit dem *Modelbuilder* von *ArcGIS* erstellt. Sie sind in den **Anlagen 4** und **5** dokumentiert.

Die Bewertungsmatrizen aller Szenarien mit Berechnungsergebnissen, sofern Gewichte geändert wurden, befinden sich in **Anlage 7**.

Für jedes Szenario wurden die Teilmodelle modifiziert. Die Ablage der szenarienspezifischen Modelle erfolgte in der *Toolbox* von *ArcMap*.

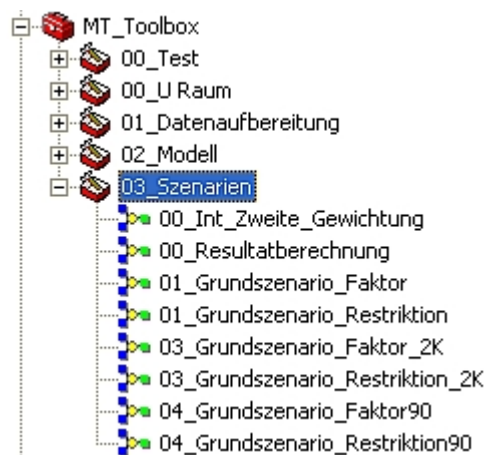


Abbildung 25: Ablage der Szenarienmodelle in der *Toolbox* von *ArcMap*

5.1 Szenario 1: Basisszenario

Szenario 1 ist als eine Art Basisszenario anzusehen. Nachfolgende Szenarien wurden entsprechend der Vorgehensweise zur Evaluierung (4.5.12) abgewandelt.

5.1.1 Beschreibung

Die berücksichtigten Restriktionen, Faktoren und Schwellwerte sind in der Tabelle **Anlage 2** aufgeführt. Die als Restriktion festgelegten Kriterien wurden für alle Szenarien beibehalten, die Gründe dafür wurden in Abschnitt 4.5.9 erläutert.

Gewichtung:

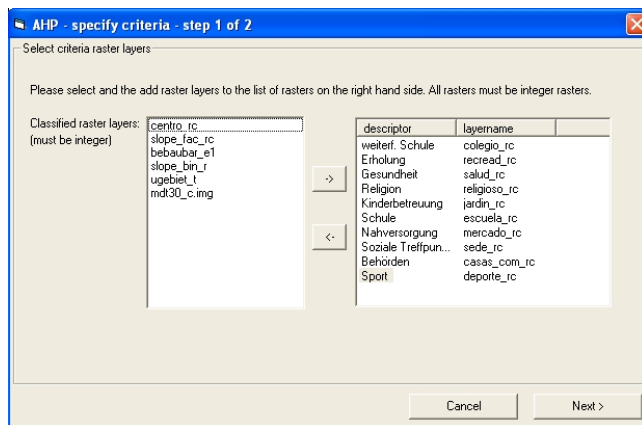


Abbildung 26: Auswahl Faktoren für Gewichtung mit AHP Extension, Szenario 1

Bei der Gewichtung auf Ebene der Unterattribute der materiellen Infrastruktur/Wohnfolgeeinrichtungen wurden im Basisszenario alle Faktoren berücksichtigt. Der Faktor Nahversorgung wurde am höchsten gewichtet, da die Versorgung auch für Menschen mit geringerer Mobilität gewährleistet sein muss. Leider standen keine Informationen über den öffentlichen Nahverkehr zur Verfügung, jedoch war anzunehmen, dass dieser in Quito schlecht ausgebaut ist, wie Experten von der Universität San Francisco in Quito berichteten. Daher sind die Menschen auf ein Auto angewiesen, sobald sie die Güter des täglichen Bedarfs nicht zu Fuß erreichen können und dies kann sich nicht Jeder leisten. Gesundheit und Bildung wurden am zweitstärksten gewichtet. Vor allem die Nähe von Schulen und Kindergärten wurde als wichtig erachtet, da Schüler und Kleinkinder nicht sehr mobil sind. Je weiter die Bildungseinrichtungen entfernt sind, desto größer ist die Gefahr, dass Kinder gar keine Schulbildung erhalten. Weiterführende Schulen können ein wenig weiter entfernt sein, da ihnen ein längerer Schulweg leichter zuzumuten ist, als kleinen Kindern. Der Zugang zu ärztlicher Nahversorgung ist für alle Bevölkerungsschichten wichtig, jedoch besonders für Ältere und Kinder, da diese am wenigsten selbständig und mobil sind.

Die Nähe zu Erholungsflächen, Freizeiteinrichtungen, kirchlichen Einrichtungen oder sozialen Treffpunkten wurden alle ungefähr gleich gewichtet. Menschen brauchen Orte um sich zu Erholen oder mit anderen auszutauschen. Die Erreichbarkeit von Behörden im Nahbereich wurde niedrig gewichtet, da diese für die Wohnnutzung keine große Rolle spielt. Im Normalfall beschränken sich Behördengänge auf wenige Male pro Jahr. Dafür ist ein etwas längerer Weg gerechtfertigt.

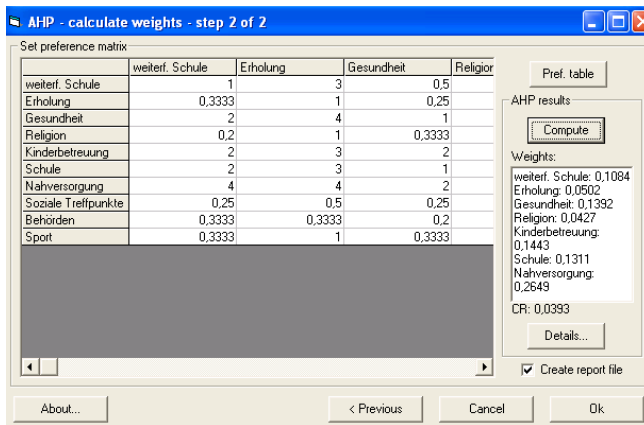


Abbildung 27: Gewichtungsszenario 1_T1

[consistency ratio CR] = 0,0442 < 0.1 o.k.

Bei der Gewichtung auf Ebene der Ankerattribute wurden alle drei Faktoren berücksichtigt. Die Erreichbarkeit der Arbeitsplatzzentren wurde am höchsten gewichtet, etwa doppelt so hoch wie das Vorhandensein von Wohnfolgeeinrichtungen, da eine Arbeitsstelle die Grundvoraussetzung für Wohnnutzung darstellt. Die Hangneigung wurde niedrig gewichtet, da der Wohnraum in Quito begrenzt ist. Die Erschließungskosten spielen zwar eine Rolle, jedoch ist es bei der Knappheit an bebaubaren Grund zunächst entscheidend überhaupt ein geeignetes Grundstück zu finden.

Berechnete Faktorengewichte auf Ebene der Wohnfolgeeinrichtungen nach den vergebenen Werten der Verhältnisskala (1-9):

- 0,1071 (weiterführende Schulen)
- 0,0512 (Erholung)
- 0,1389 (Gesundheit)
- 0,0437 (Religion)
- 0,1438 (Kinderbetreuung)
- 0,1307 (Schule)
- 0,2713 (Nahversorgung)
- 0,0414 (soziale Treffpunkte)
- 0,0209 (Behörden)
- 0,051 (Sport)

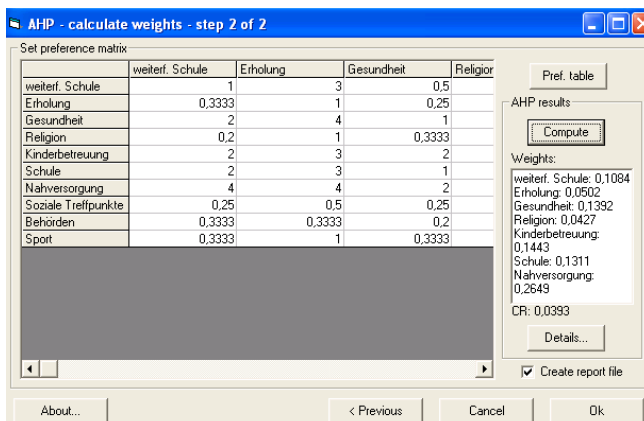


Abbildung 28: Gewichtungsszenario 1_T2

[consistency ratio CR] 0,0905 < 0.1 o.k.

Berechnete Faktorengewichte auf Ebene der Merkmalsgruppen nach den vergebenen Werten der Verhältnisskala (1-9):

- 0,2872 (Wohnfolgeeinrichtungen)
- 0,6348 (Arbeitsplatzzentren)
- 0,078 (Hangneigung)

5.1.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 1

Zur Darstellung der Eignungsstufen wurde das Ergebnis nach der Methode *natürliche Grenzen (natural breaks)* klassifiziert. Es wurde eine Abstufung in neun Klassen vollzogen, die dreifache Anzahl der Bewertungsstufen, damit die Übergänge und die

räumliche Verteilung besser sichtbar werden. Diese Vorgehensweise wurde bei allen folgenden Ergebnispräsentationen beibehalten.

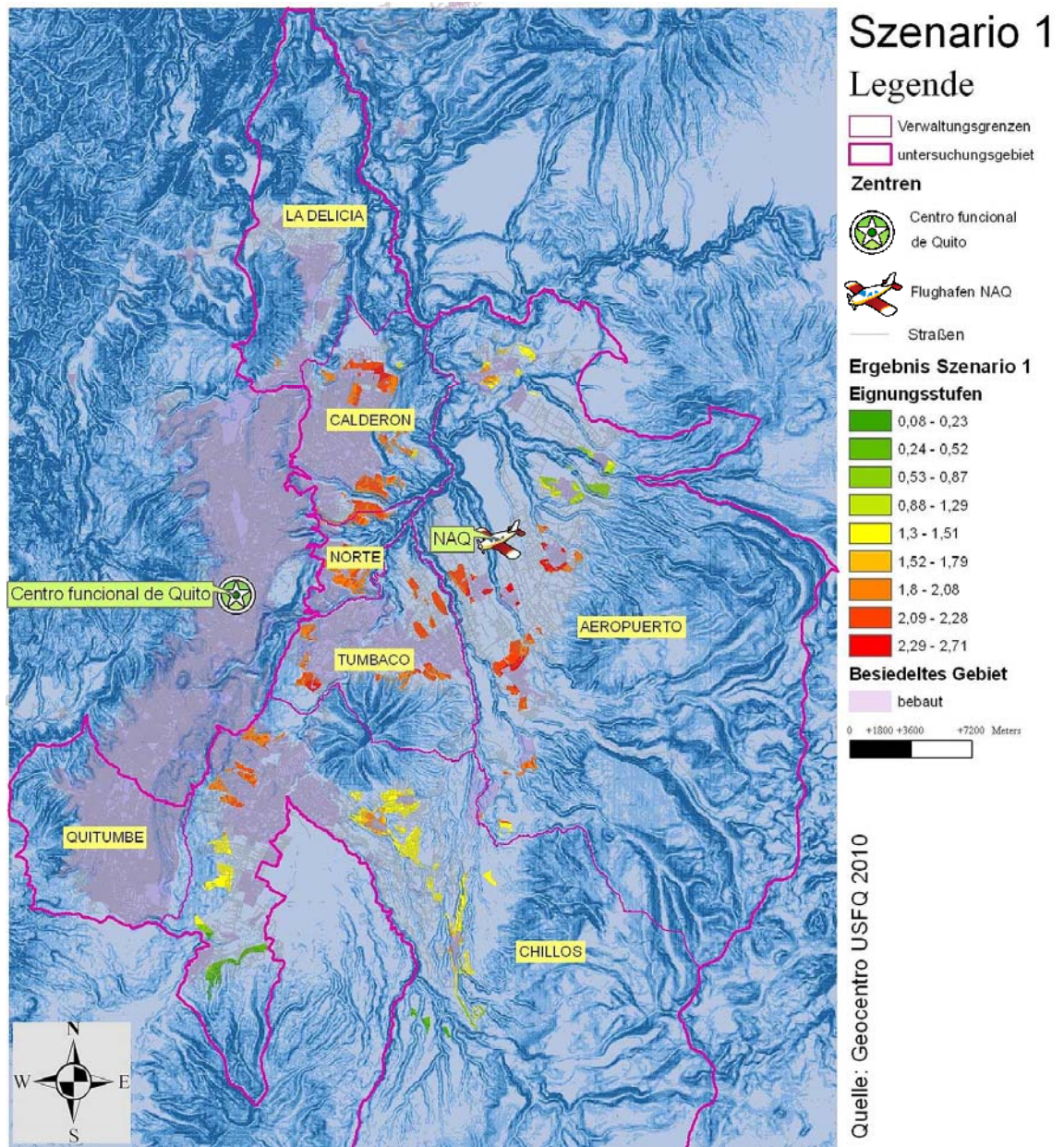


Abbildung 29: Eignungskarte Szenario 1

Erschließbare Gebiete befinden sich hauptsächlich in den Tälern des Valle de los Chillos und Tumbaco, die am weitesten von der Kernstadt Quito entfernt liegen. Nach Norden begrenzen Berge die weitere Ausbreitung von Siedlungsgebieten. Lediglich im Norden und Süden der Verwaltungszone Calderon gibt es noch letzte Erweiterungsflächen. Diese sind sogar *vorzüglich* für die Wohnnutzung *geeignet*, was nicht verwundert, da diese nah an schon besiedeltem Gebiet liegen. Die Gebiete im Valle de los Chillos hingegen sind *weniger bis gerade noch gut* für die Wohnnutzung *geeignet*, was wohl darin liegt, dass diese Täler sich in der ersten Erschließungsphase

befinden. Es ist anzunehmen, dass es dort durch Investitionen in die Infrastruktur gelingen würde die Eignung zu verbessern. In den Gebieten rund um den neuen Flughafen in den Verwaltungszonen Aeropuerto und Tumbaco bestehen ebenfalls noch Kapazitäten für die Wohnbesiedelung. Die materielle Infrastruktur mit Wohnfolgeeinrichtungen ist dort den Eignungsstufen nach zu urteilen auf einem guten Stand.

5.2 Szenario 2: veränderte Gewichtung

In diesem Szenario soll geprüft werden, wie das Modell auf veränderte Gewichte reagiert.

5.2.1 Beschreibung

In diesem Szenario wurde die Gewichtung geändert. Die Gewichte für die Erreichbarkeit von Nahversorgungseinrichtungen, Bildung und Gesundheit wurden erhöht. Der Faktor Erreichbarkeit von Behörden, der im Basisszenario 1 als nachrangig eingestuft wurde, erhielt nun ein höheres Gewicht.

Berechnete Faktorengewichte auf Ebene der Wohnfolgeeinrichtungen nach den vergebenen Werten der Verhältnisskala (1-9):

0,1513 (weiterf. Schule)

0,0476 (Erholung)

0,1736 (Gesundheit)

0,0473 (Religion)

0,1889 (Kinderbetreuung)

0,1645 (Schule)

0,0815 (Nahversorgung)

0,0528 (Soziale Treffpunkte)

0,0476 (Behörden)

0,0449 (Sport)

[consistency ratio CR] = 0 < 0.1 o.k.

Berechnete Faktorengewichte auf Ebene der Merkmalsgruppen:

Es wurden dieselben Gewichte wie in Szenario 1 verwendet, weil nur die Auswirkungen von Änderungen auf die Ebene der Wohnfolgeeinrichtungen geprüft werden sollten.

Anmerkung: Für sinnvolle Gewichtungsmodifikationen in weiteren Szenarien auf der Ebene der Merkmalsgruppen (Ankerattribute) standen zu wenige Faktoren zur Verfügung. Bei den Verfügbaren macht eine andere Gewichtung als in Szenario 1

keinen Sinn. So ist es beispielsweise nicht angemessen die Hangneigung viel höher als die Erreichbarkeit von Arbeitsplatzzentren zu gewichten.

Faktorengewichte nach den vergebenen Werten der Verhältnisskala (1-9) wie in Szenario 1:

0,2872 (Wohnfolgeeinrichtungen)

0,6348 (Arbeitsplatzzentren)

0,078 (Hangneigung)

[consistency ratio CR] 0,0905 < 0.1 o.k.

5.2.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 2

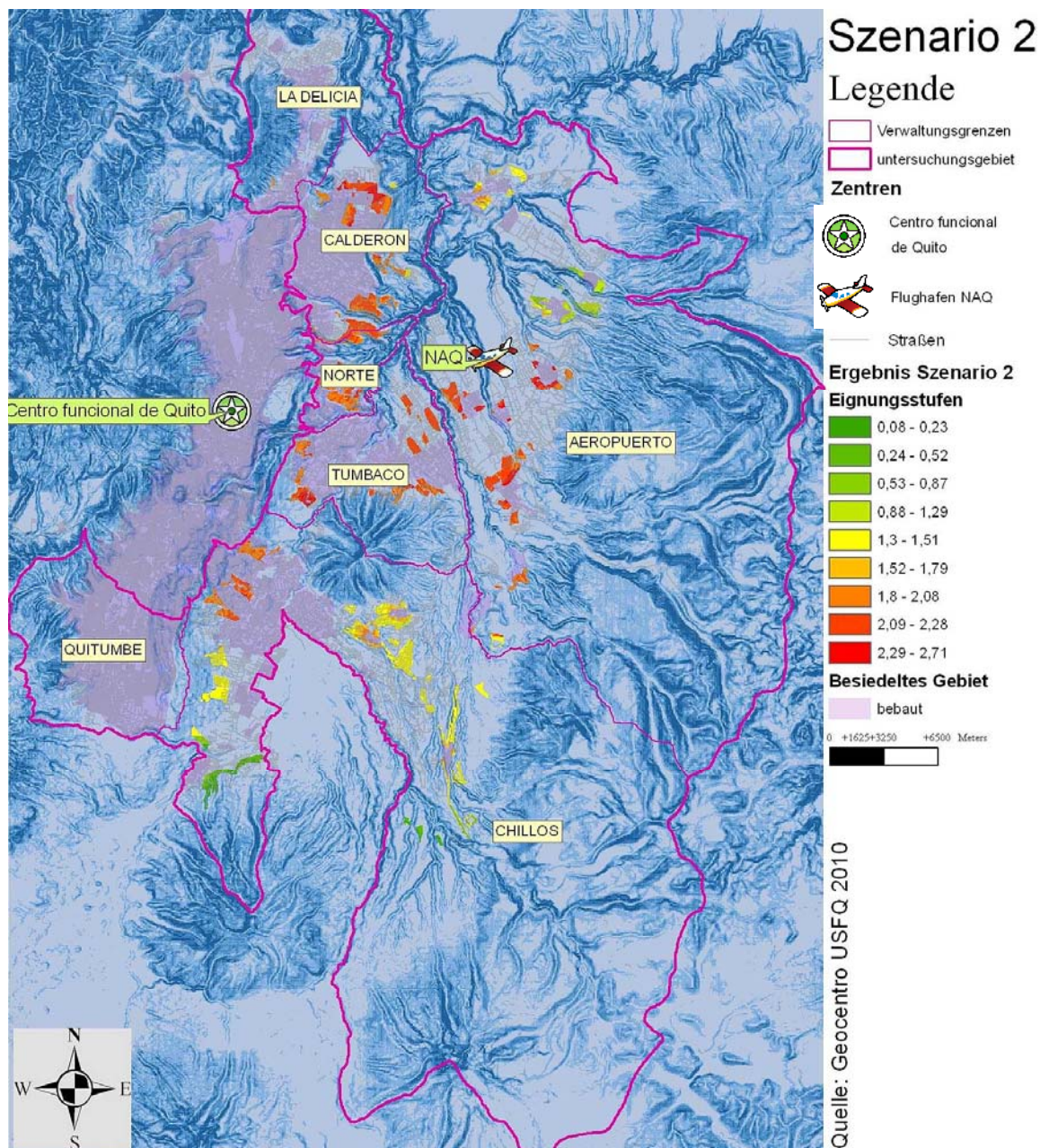


Abbildung 30: Eignungskarte Szenario 2

Bei Betrachtung der Karte fällt auf, dass sich, obwohl die Gewichtungen verändert wurden, kaum Änderung in der räumlichen Verteilung der Eignungsstufen bemerkbar machen. Dies kann als erster Hinweis darauf gelten, dass es sich um ein robustes Modell handelt. Erst beim Hineinzoomen in einen größeren Maßstab ist erkennbar, dass lokale Rastereinheiten bei diesem Szenario einer anderen Eignungsstufe zugeordnet werden, es sich jedoch nichts an der übergeordneten Verteilungstendenz ändert. Erkennbar ist zudem, dass Spitzeneinstufungen, also Flächen mit tieferer Einstufung, abgenommen haben. Die Rückstufung dieser Flächen ist jedoch moderat. Die Flächen bleiben im oberen Bereich der Eignungsstufen.

Dieser Nivellierungseffekt könnte daraufhin deuten, dass die Gebiete sehr gut mit Einrichtungen zur Nahversorgung ausgestattet sind. Dieser Faktor wurde signifikant niedriger gewichtet und somit ging er weniger stark in das Flächenranking ein.

5.3 Szenario 3: verringerte Klassenanzahl

In diesem Szenario wurde die Anzahl der Bewertungsklassen geändert.

5.3.1 Beschreibung

Gesundheitszentren, Krankenhäuser	>1350m	0 = ungeeignet	>1350m	0 = ungeeignet
	1050-1350m	1 = wenig geeignet	675-1350m	1 = geeignet
	825-1050m	2 = geeignet	0-675m	2 = vorzüglich geeignet
	0-825m	3 = vorzüglich geeignet		

Tabelle 05: Bewertungsstufen im Vergleich

Die Anzahl der Klassen wurde auf drei reduziert. Dazu wurde der höchste Entfernungswert der Klasse 1 durch zwei geteilt. Daraus ergaben sich die neuen Klassen 1 und 2. Eine Übersicht aller geänderten Schwellwerte siehe **Anlage 6**.

Die Gewichtung erfolgte analog zu Szenario 1 um die Auswirkung der neuen Klasseneinteilung ohne Einflüsse durch andere Parameter analysieren zu können.

5.3.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 3

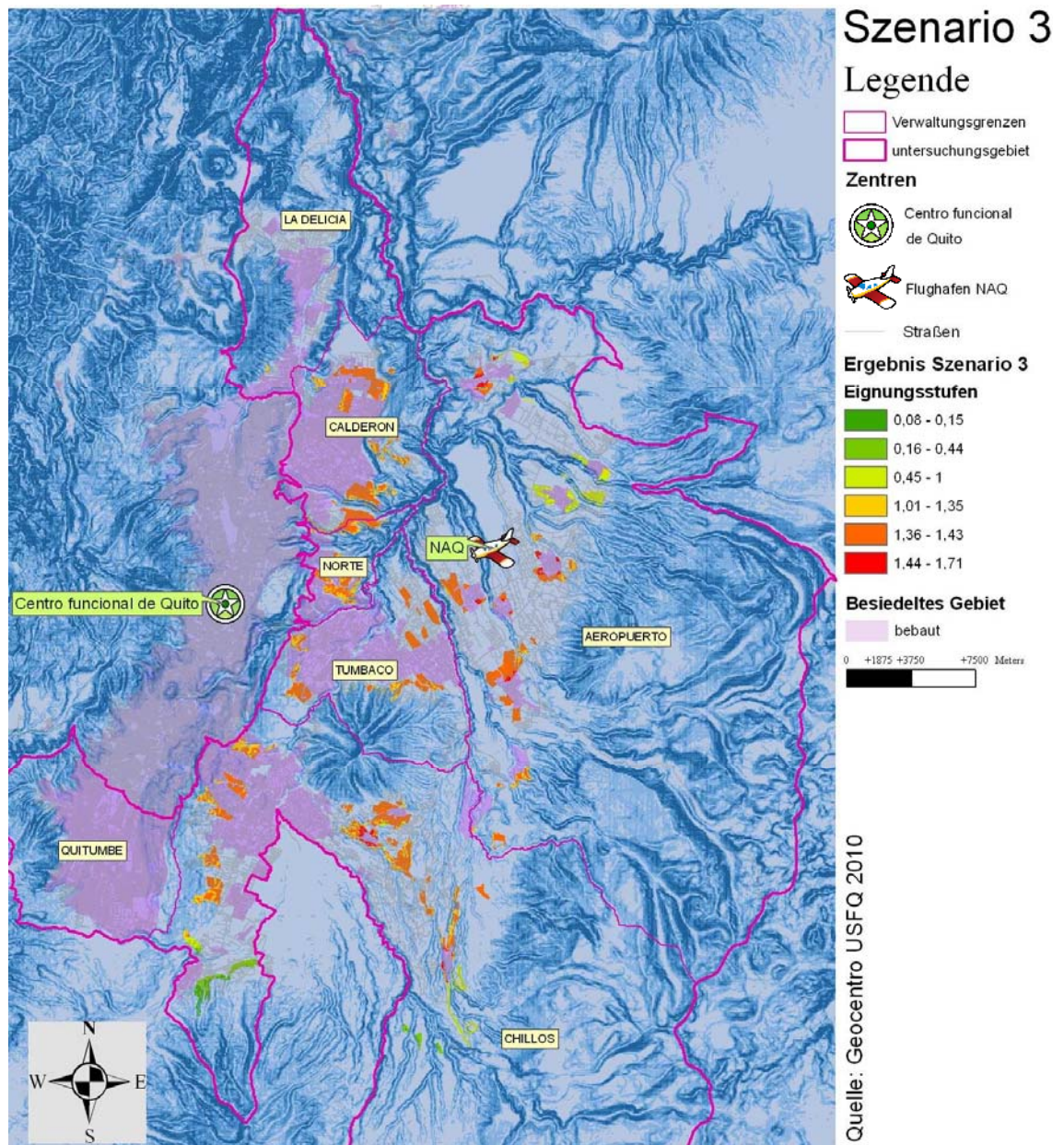


Abbildung 31: Eignungskarte Szenario 3

Beim Übereinanderblenden der Eignungskarte von Szenario 1 und 3 fällt auf, dass es zu einer Verschiebung weg von Spitzeneinstufungen (positiv wie negativ) hin zu einer größeren Anzahl mittleren Eignungswerten kommt. Ein Blick auf die Standardabweichung der Ergebnisse aus Szenario 1 und 3 bestätigt diesen Eindruck.

Die Standardabweichung bei drei Bewertungsklassen beträgt (Szenario 1): 0,538

Die Standardabweichung bei zwei Bewertungsklassen beträgt (Szenario 3): 0,342

Eine weitere Folge der Klassenreduktion ist die, dass Spitzenwerte (positiv wie negativ) deutlicher hervortreten. Besonders ist dies im nördlichen Teil des Valle de los Chillos zu beobachten.

Die übergeordnete räumliche Verteilung, also die Tendenz, die schon bei Szenario 1 beobachtet wurde, ist gleich geblieben. Dies kann als weiteres Indiz dafür gelten, dass das verwendete Modell relativ robust ist.

5.4 Szenario 4: veränderte Rasterweite

In diesem Szenario sollte geprüft werden, wie sich das *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) auf das Ergebnis auswirkt.

5.4.1 Beschreibung

Das MAUP äußert sich dadurch, dass Ergebnisse maßstabsabhängig sind. Demnach nimmt der Informationsgehalt durch Vergrößerung/Vergrößerung der Rasterweite ab. Es kommt zu kleinen Verschiebungen des Rasterursprungs, der dazu führt, dass Phänomene in zwei Maßstabsebenen vollkommen anders dargestellt werden können. Dies wird als *Zonierungseffekt* bezeichnet (vgl. 3.11.2.2).

Die Rasterweite wurde von 30 auf 90 Meter erhöht. Die Gewichtung erfolgte nach Szenario 1. Die Anzahl der Bewertungsstufen betrug wieder drei, wie in Szenario 1.

5.4.2 Ergebnisse und Interpretation Szenario 4

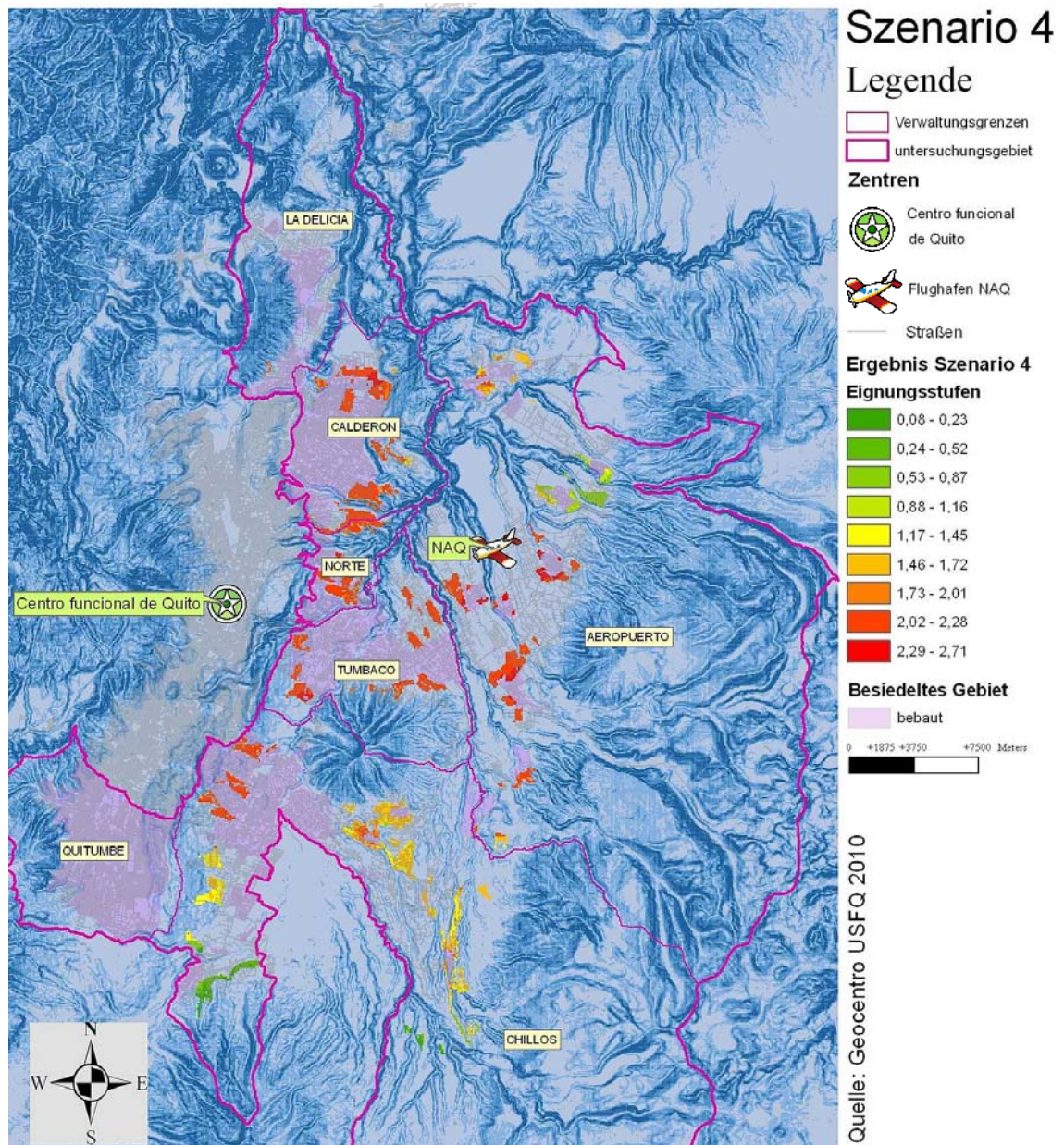


Abbildung 32: Eignungskarte Szenario 4

Zunächst kann festgestellt werden, dass eine veränderte Größe der Rasterzellen keine Auswirkungen auf die mit der *AHP-Extension* berechneten Gewichte hatte. Mit denselben Verhältniswerten wie in Szenario 1 ergaben sich keine Veränderungen.

Die Tendenz der räumlichen Verteilung bleibt weiterhin intakt. Eines ist jedoch deutlich zu sehen. Es kommt zu einem *Verschiebungseffekt*. Damit ist gemeint, dass sich die Verteilung von Flächen auf die Bewertungsstufen hin zu einer besseren Eignung verschiebt. Flächen, welche in Szenario 1 als *wenig geeignet* eingestuft wurden, werden jetzt als *gut geeignet* eingestuft. Als *gut geeignet* eingestufte Flächen werden als *vorzüglich geeignet* eingestuft. Dieser *Verschiebungseffekt* entspricht genau dem in der

wissenschaftlichen Literatur beschriebenen *Zonierungseffekt*. Es könnte angenommen werden, dass eine weitere Vergrößerung der Untersuchungseinheiten dazu führen würde, dass am Ende alle Flächen als *vorzüglich geeignet* eingestuft würden. Auf einen empirischen Nachweis wird an dieser Stelle allerdings verzichtet, da dies nicht Kernthema dieser Master Thesis ist.

Die Folgerung im Abschnitt 3.11.2.2 bezüglich des *Zonierungseffekts* ist als richtig anzusehen. Sie besagt, dass es nicht sinnvoll ist, Resultate einer Berechnung oder Beobachtungen eines Phänomens auf andere Maßstäbe oder Gebietseinteilungen zu übertragen.

5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Szenario 1 diente als Basisszenario. Bei diesem Szenario wurden die Anzahl der Bewertungsklassen und die Grenzen für die Schwellwerte angelehnt an Fallbeispiele aus der Literatur definiert. Die Gewichtung erfolgte durch paarweisen Vergleich. Ausgehend von Szenario 1 wurde in den folgenden Szenarien eine Sensitivitätsanalyse mit veränderten Parametern durchgeführt sowie die Auswirkungen von vergrößerten Untersuchungseinheiten auf das Ergebnis untersucht.

Die Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 ergaben Anhaltspunkte, dass das Modell als valide bzw. robust angesehen werden kann. Die räumliche Verteilung von Eignungsflächen blieb trotz variierender Gewichtung, trotz veränderter Klasseneinteilung und trotz Vergrößerung des Untersuchungsrahmens gleich.

In Szenario 2 wurde am Beispiel der Wohnfolgeeinrichtung *Nahversorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs* aufgezeigt, wie durch Manipulation der Gewichtung Ergebnisse beeinflusst werden können. Gewichte können eingesetzt werden um den Einfluss von Faktoren zu verstärken oder zu mindern.

Szenario 3 führte zu dem Schluss, dass die Anzahl der Bewertungsklassen nicht zu niedrig gewählt werden sollte. Es kommt zu einem *Nivellierungseffekt*. Je niedriger die Klassenanzahl gewählt wird, desto weniger Flächen erreichten Maximalwerte innerhalb der Eignungsskala.

Die Auswirkungen des *Modifiable Area Unit Problems* (MAUP) wurden in Szenario 4 untersucht. Nachdem die Rastergröße der Untersuchungseinheiten verdreifacht wurde konnte beobachtet werden, dass sich das Ergebnis änderte. Es zeigte sich, dass Bewertungsergebnisse nicht von einer Maßstabsebene auf eine andere übertragen werden dürfen.

Als Resümee kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass alle Ergebnisse beeinflussbar bzw. manipulierbar sind. Sie sind nur unter den zugrunde gelegten Annahmen und den zur Verfügung stehenden Daten und Informationen gültig. Resultate sind als relativ anzusehen und dürfen nur im Hinblick auf die verwendeten Daten, die Methoden, die gewählten Annahmen für die Schwellwerte und die Vorgehensweisen betrachtet und interpretiert werden (vgl. 3.8.4).

6 Schluss

Das wissenschaftliche Kernziel dieser Master Thesis war es, eine multikriterielle Eignungsbewertung mittels GIS- gestützter Methoden zu beschreiben und umzusetzen. Um die Thematik zu umreißen, stellte ich am Beginn der Arbeit eine Auswahl der einschlägigen Literatur dar. In Abschnitt 3 beschrieb ich die Grundlagen der Entscheidungstheorie, den Ablauf von Planungsprozessen und verschiedene Möglichkeiten, Entscheidungsprobleme zu bewältigen. Danach stellte ich die Eigenschaften von multikriteriellen Entscheidungsverfahren dar und zeigte auf, wieso GI Systeme zur Entscheidungsunterstützung geeignet sind. Im weiteren Verlauf erläuterte ich die Gewichtungsmethode des *Analytic Hierarchy Process* erläutert. Die AHP-Methode eignet sich für die Gewichtung von Bewertungskriterien, weil sie nachvollziehbar, reproduzierbar und verständlich ist und verleiht dadurch einer Entscheidung größere Akzeptanz. Zum Abschluss des theoretischen Teils meiner Arbeit, erläuterte ich den Sinn und Zweck von Sensitivitätsanalysen. Dazu gehören die Modellvalidierung, die Modelloptimierung, die Identifikation wichtiger Eingangsgrößen, die Identifikation von Modelleigenschaften und die Risikobewertung. Dabei ging ich auch auf das *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) ein. Der Literatur nach zu schließen wird dieses Problem meist ignoriert. Es tritt bei Analysen in unterschiedlichen Maßstabsebenen auf und es wurden noch keine definitiven Methoden entwickelt damit umzugehen. Der Kern des Problems liegt in der Feststellung, dass Analyseergebnisse einer Maßstabsebene nicht auf andere Maßstabsebenen übertragen werden können. In der Literatur werden jedoch nicht nur die negativen Auswirkungen dieses Problems gesehen, sondern auch die Möglichkeit es als ein zusätzliches Analysewerkzeug einzusetzen.

Den angewandten Teil meiner Arbeit, die Eignungsbewertung, begann ich mit der Auswahl relevanter Merkmalsgruppen und Bewertungsfaktoren. Ich bestimmte sie, indem ich die einschlägige Literatur verglich. Die Daten meiner Analyse wurden vom *Geocentro USFQ* zur Verfügung gestellt. Diese Daten reichten zwar nicht aus um jedes relevante Kriterium bei der Analyse zu berücksichtigen. Jedoch waren genug Daten vorhanden um ein Bewertungsverfahren durchzuführen und methodische Vorgehensweisen eines multikriteriellen Entscheidungsverfahrens anzuwenden. Für die Analyse der Kriterien erstellte ich mit Hilfe von *ArcGIS* ein Analysemodell. Durch Klassifizierung und durch Anwendung von Werkzeugen der Rastermathematik erarbeitete ich aus allen Ausschlusskriterien ein binäres (*geeignet - ungeeignet*)

Eignungsraster. Durch eine weitere Klassifizierung, die auf eine Netzwerkanalyse folgte, und durch die Gewichtung der einzelnen Faktoren mit der AHP-Methode generierte ich aus den Eignungsfaktoren ein Eignungsraster. Für die Aggregation und paarweise Gewichtung von Faktoren diente mir die Extension *AHP 1.1 - Decision support tool for ArcGIS*. Anschließend führte ich die beiden Ergebnisraster so zusammen, dass ich eine Eignungskarte frei von Restriktionsflächen gewann, aus der die räumliche Verteilung der Eignungsflächen hervorgeht. Diese für die Wohnnutzung potentiell erschließbaren Flächen stellte ich einem Ranking entsprechend nach Eignungsstufen farblich dar. In verschiedenen Szenarien untersuchte ich schließlich die Sensitivität des Analysemodells und somit der Ergebnisse. Ich zeigte dabei auf, wie Bewertungsergebnisse durch die Wahl von Parametern und deren Eigenschaften beeinflusst werden. In den Szenarien variierte ich dazu die Modellparameter. Zu diesen zählten die Kriterien, die Anzahl der Bewertungsstufen, die Wahl der Schwellwerte und der Gewichte sowie der Untersuchungsmaßstab.

Die Eignungskarte von Szenario 1 in Abschnitt 5 stellt das Ergebnis der Eignungsbewertung dar. In diesem Basisszenario 1 sind alle als relevant identifizierten Bewertungskriterien berücksichtigt und gewichtet soweit für sie geeignetes Datenmaterial zur Verfügung stand. Für ein konkretes Projekt in der Praxis würde jedoch die Situation eintreten, dass auf das Fachwissen und die Erfahrung von einem Experten oder gar einer Gruppe von Experten zurückgegriffen werden müsste. Wie bei der Interpretation von Szenario 1 in Abschnitt 5.1.2 beschrieben, stehen Erweiterungsflächen vor allem im Osten und Südosten der Stadt Quito in den Tälern Cumbaya und Tumbaco, Aeropuerto sowie Valle de los Chillos zur Verfügung. Als am besten geeignet für die Wohnnutzung können Erweiterungsflächen in den Verwaltungszonen Calderon, Tumbaco und Nuevo Aeropuerto de Quito angesehen werden. Je weiter die Erweiterungsflächen vom Stadtzentrum entfernt liegen, desto schlechter ist die Eignung in Bezug auf die Wohnnutzung.

Die Ergebnisse dieser Eignungsbewertung gelten nur für die verwendeten Daten und festgelegten Modellparameter. Für eine umfassendere Eignungsbewertung der Erweiterungsflächen der Stadt Quito bedürfte es weitergehender Analysen auf der Grundlage umfangreicheren Datenmaterials. Es wäre interessant, weitere Kriterien in das Entscheidungsmodell einzubeziehen. Das Ergebnis würde dann sicher variieren. Für das Merkmal der Erreichbarkeit könnten Faktoren wie die Verkehrsdichte, Anbindung an das Netz des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) oder

Verkehrsbeschränkungen hinzugezogen werden. Es wäre zudem sinnvoll, die ausgewiesenen Flächen in Hinblick auf die Eignung für andere Nutzungsarten, wie etwa Gewerbenutzung oder Nutzung als landwirtschaftliche Produktionsflächen, zu analysieren. Zudem sollten weitere Faktoren wirtschaftlicher und sozioökonomischer Art sowie Umwelteinflüsse berücksichtigt werden. Dieses Vorgehen wäre insbesondere dann zu empfehlen, wenn es konkret darum gehen würde, Planungsgrundlagen für einen Flächennutzungs- oder Bebauungsplan zu erstellen. Mit Eignungskarten könnten den einzelnen Nutzungsarten durch Allokation die jeweils geeigneten Flächen zugeteilt werden. Es wäre möglich, das Modell dieser Master Thesis im Verlauf weitergehender Analysen zu verwenden und weiterzuentwickeln. Überdies würde es sich anbieten, anhand von Prognosemodellen eine Tragfähigkeitsanalyse für die Erweiterungsgebiete durchzuführen.

Abschließend stelle ich fest, dass die Durchführung einer multikriteriellen Eignungsbewertung einer Systematik bedarf - einer Systematik bei der Problemdefinition, der Modellerstellung sowie der Auswahl und Gewichtung von Kriterien. Dies macht eine Entscheidung bzw. Bewertung nachvollziehbar und erhöht die Akzeptanz des Ergebnisses bei den Betroffenen. GI Systeme sind nicht nur dazu geeignet, Daten zu verwalten und räumliche Zusammenhänge aufzuzeigen, sondern können auch zur Unterstützung in einem Entscheidungs- bzw. Bewertungsverfahren eingesetzt werden. Eignungsanalysen mit GI Systemen eignen sich sehr gut dafür, Zusammenhänge aufzuzeigen. Sie ermöglichen die Kombination verschiedener Merkmalsgruppen, bringen dadurch neue Erkenntnisse ans Licht und führen zu besseren Planungsgrundlagen. Für die Zukunft wäre es daher wünschenswert, dass diese zeitgemäßen Analysemethoden auch bei der Stadtplanung in Entwicklungsländern verstärkt Anwendung finden. Nur so kann das Ziel unterstützt werden, dass die Städte dem Zuwanderungsdruck adäquat begegnen und die dadurch erhofften wirtschaftlichen und persönlichen Verbesserungen eintreten können.

Literaturverzeichnis

Dückert, Dieter; Millarg, Hartmut; Reinmuth, Uwe; Spengelin, Friedrich
Mindestanforderungen an Wohnfolgeeinrichtungen in citynahen Stadtteilen - Pilotstudie ILS Dortmund
Stadtentwicklung – Städtebau Band 2.006
Schmücker Druck, 1977

Eastman, J. Ronald
GIS and Decision Making
UNITAR, 1993

Golden, Bruce L.; Wasil, Edward A.; Harker, Patrick T.
The Analytic Hierarchy Process
Applications and Studies
Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, London-Paris, Tokyo, Hong Kong, 1989

Grünig, Rudolf; Kühn, Richard
Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme
Ein heuristischer Ansatz
Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009

Hax, Herbert
Entscheidungsmodelle in der Unternehmung
Einführung in Operation Research
Rowohlt Taschenbuchverlag GmbH, Reinbek bei Hamburg, 1974

Heinen, E.
Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen
3. Auflage
Wiesbaden, 1976

Herzig, Alexander
Entwicklung eines GIS-basierten Entscheidungsunterstützungssystems als Werkzeug nachhaltiger Landnutzungsplanung
Selbstverlag Universität Kiel, Kieler Geographische Schriften, Band 114, 2007

Malczewski, Jacek
GIS and Multikriteria Decision Analysis
Wiley, New York, 1999

Kesting, Peter
Handlungsalternativen, Eine Untersuchung über die Gestalt und Gestaltung ökonomischer Entscheidungsprobleme,
Metropolis-Verlag, Marburg 2003

Kilchenmann, Andre; Schwarz-v.Raumer Hans-Georg,
Winde, Frank; Walossek, Wolfgang; Ringler, Hans; Ludley, Kurt; Kilchemann, Roger; Kickner, Susanne; Falkenhagen, Michael; Benhold, Ines
GIS in der Stadtentwicklung
Methodik und Fallbeispiele
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong, 1999

- Kistenmacher, Hans
Ermittlung des Wohnbaulandpotentials in Verdichtungsräumen
 Schriftenreihe Forschung des Bundesministers für
 Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
 Neumann GmbH, Remscheid, 1988
- Laux, Helmut
Entscheidungstheorie
 Springer Verlag, 1998
- Malik, F.
Führen – Leisten – Leben. Wirksames Management für eine neue Zeit
 Deutsche Verlagswerkstatt Stuttgart, 2000
 Oliver Meixner
Wissensmanagement und Entscheidungstheorie
 Wien 2010
- Neu, Claudia
Daseinsvorsorge – Eine gesellschaftswissenschaftliche Annäherung
 VS Research Wiesbaden, 2009
- Openshaw, Stan
CATMOG – Concepts and Techniques in Modern Geography
 Band 38
The modifiable areal unit Problem
 Geo Books, Norwich, England, 1984
- Peters, Malte
 Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement
 Arbeitsbericht Nr.19
Fallstudie zur Lösung eines Standortproblems mit Hilfe des AHP
 Universität GH Essen, 2003
- Platzner, Gerhard
*Erreichbarkeitsverhältnisse im öffentlichen Verkehr und im Individualverkehr
 in Österreich 1997/1998*
 Österreichische Raumordnungskonferenz
 Schriftenreihe Nr.155
 Manz Crossmedia, Wien, 2000
- Saaty, Thomas L.
*Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with
 The Analytic Hierarchy Process Vol. VI*
 RWS Publications, Pittsburgh, 1994
- Schneeweiß, Christoph
 Planung 1
Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen
 Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- Schneeweiß, Christoph
 Planung 2
Konzepte der Prozeß- und Modellgestaltung
 Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1992

Schweiger, Volker

Nicht-lineare Sensitivitätsanalyse

gezeigt an Beispielen zu bewegten Objekten (Diss.)

Verlag der bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission beim Verlag C. H. Beck, 2005

Song, Youngbae

Abstimmung und Abwägung von Raumannsprüchen anhand eines geographischen Expert-

Entscheidungssystems am Beispiel der Eigenentwicklung eines geographisch wissensbasierten

Entscheidungshilfesystems zur Flächenzuweisung

Dissertation, Universität Dortmund, 1998

V. Altrock Constantin

Fuzzy Logic Band 1

Oldenbourg Verlag, München, 1995

Weber, Karl

Mehrkriterielle Entscheidungen

R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1993

Internetquellen:

David, Martin

Developing the Automated Zoning Procedure to Reconcile Incompatible Zoning Systems, 2001

Department of Geography, University of Southampton

[www.geocomputation.org]

<http://www.geocomputation.org/2001/papers/martin.pdf>

letzter Zugriff: 30.01.2011

Grasland, Claude

Das „MAUP“: Modifiable Areal Unit - Problem oder Fortschritt?

Université Paris-Diderot, Paris, 2009

[<http://hal.archives-ouvertes.fr>]

http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/42/45/89/PDF/03_grasland.pdf

letzter Zugriff: 30.01.2011

Marinoni, Oswald

[<http://arcscrips.esri.com/>]

<http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=13764>

letzter Zugriff: 29.04.2011

Strotebeck, Falk

Reg. Innovationsökonomik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft. Univ. Bochum, Diss., 2010

[www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de]

<http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netathtml/HSS/Diss/StrotebeckFalk/diss.pdf>

letzter Zugriff: 30.01.2011

Vergleichstabelle Kriterien

Vergleich der aufgeführten Bewertungskriterien in Bezug auf die Wohnfunktion auf Basis eines Literaturvergleichs			
Räppel	Youngbae	Kistenmacher	Platzner
Infrastruktur	Naturräumliche Faktoren	Konflikte	Ausstattung
Verkehrssituation	Bodenbeschaffenheit	mit Regionalplanerischen Grünzügen	von Wohnfolgeeinrichtungen
Umweltsituation	Besonnungsmöglichkeiten	Regionale Grünzüge	Erreichbarkeit
Frei- und Grünflächenversorgung	Erschließungsfaktoren	Grünzäsuren	Arbeitsplatz
Baugebietskategorie	Hauptstraßennetz	Schon- und Vorrangbereichen	Überörtlichen, zentralen Einrichtungen, City
Image	ÖNV	mit Freiraumansprüchen und Umweltbelangen	Erholungszentren
Bevölkerungsstruktur	Wasserversorgung	Landwirtschaft	Umweltbelastung
Gestaltqualität	Abwasserbeseitigung	Wasserwirtschaft	Immissionen
	Lagegunst	Biotopschutz	Verkehrgefährdung
	Verkehrsfrequenz des Fussgängerverkehrs	Erholung	Mischung mit Gewerbebetrieben
	Lage zu Parkplätzen	Landschaftsbild	Sozialgefüge
	Erreichbarkeit	Klima/Luft	Interessenkonflikte
	Stadtzentrum	Altlasten	
	Stadtteilzentren	Rohstoffsicherung	
	Wohngebieten	in Bezug auf Städtebauliche Eignung	
	Grün- und Parkflächen	Topographie	
	Freizeiteinrichtungen	Ortsrand	
	Bildungseinrichtungen	Emissionen	
	Kultureinrichtungen	Immissionen	
	Arbeitsplätzen	Haltestellen, S-Bahn, Stadtbahn	
	Lage im Zentrengefüge/ Trennwirkungen	Erreichbarkeit von Ortskernen	
	Ökologische und ästhetische Faktoren	Ver- und Entsorgung	
	Vegetation		
	Lärmbelastung		
	Luftverunreinigung		
	Kleinklima		
	Visuelle Wirkungen		
	Rechtliche Faktoren		
	Schutzzone		
	Schutzgebiete		
	Demographische Faktoren		
	Bevölkerungsstruktur		
	Irrationale Faktoren		
	Image		

Datenquellen: PLATZNER, 2000; RÄPPEL, 1984; WINDE, 1999; YOUNGBAE, 1998; KISTENMACHER, 1988

Vergleichstabelle Kriterien

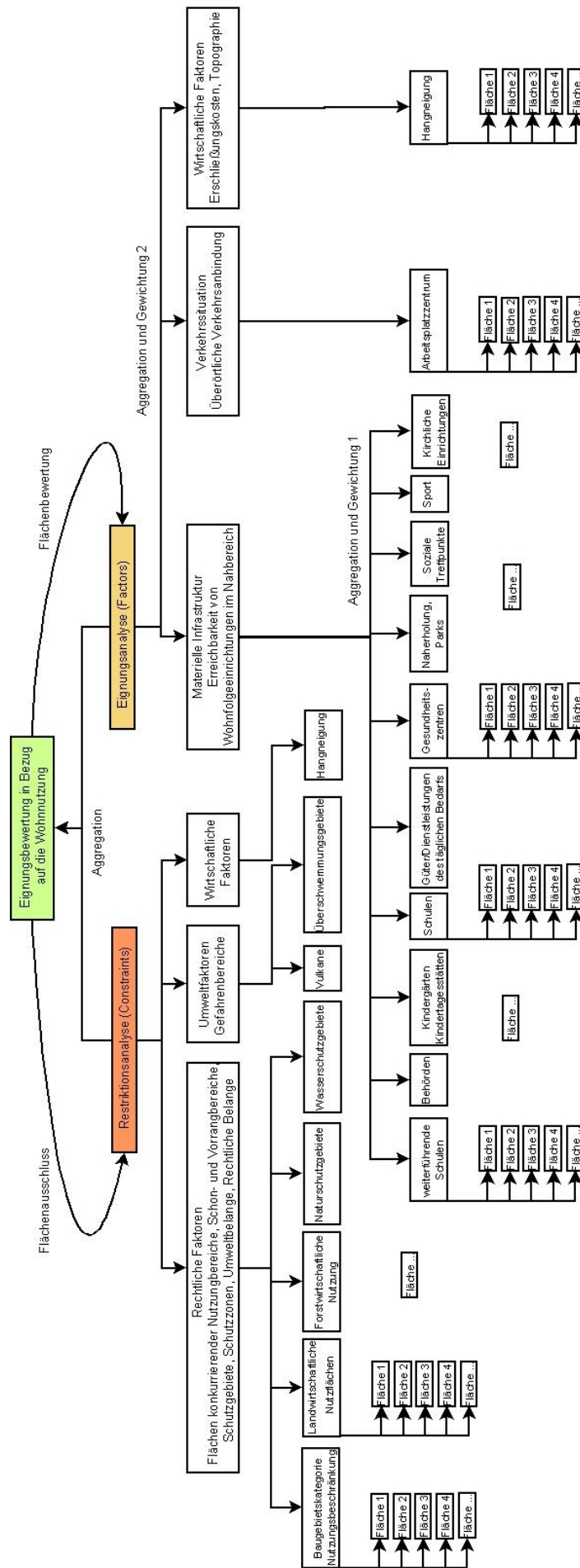
Vergleich der aufgeführten Bewertungskriterien in Bezug auf die Wohnfunktion auf Basis eines Literaturvergleichs			
Räppel	Youngbae	Kistenmacher	Platzner
Infrastruktur	Naturräumliche Faktoren	Konflikte	Ausstattung
Verkehrssituation	Bodenbeschaffenheit	mit Regionalplanerischen Grünzügen	von Wohnfolgeeinrichtungen
Umweltsituation	Besonnungsmöglichkeiten	Regionale Grünzüge	Erreichbarkeit
Frei- und Grünflächenversorgung	Erschließungsfaktoren	Grünzäsuren	Arbeitsplatz
Baugebietskategorie	Hauptstraßennetz	Schon- und Vorrangbereichen	Überörtlichen, zentralen Einrichtungen, City
Image	ÖNV	mit Freiraumansprüchen und Umweltbelangen	Erholungszentren
Bevölkerungsstruktur	Wasserversorgung	Landwirtschaft	Umweltbelastung
Gestaltqualität	Abwasserbeseitigung	Wasserwirtschaft	Immissionen
	Lagegunst	Biotopschutz	Verkehrgefährdung
	Verkehrsfrequenz des Fussgängerverkehrs	Erholung	Mischung mit Gewerbebetrieben
	Lage zu Parkplätzen	Landschaftsbild	Sozialgefüge
	Erreichbarkeit	Klima/Luft	Interessenkonflikte
	Stadtzentrum	Altlasten	
	Stadtteilzentren	Rohstoffsicherung	
	Wohngebieten	in Bezug auf Städtebauliche Eignung	
	Grün- und Parkflächen	Topographie	
	Freizeiteinrichtungen	Ortsrand	
	Bildungseinrichtungen	Emissionen	
	Kultureinrichtungen	Immissionen	
	Arbeitsplätzen	Haltestellen, S-Bahn, Stadtbahn	
	Lage im Zentrengefüge/ Trennwirkungen	Erreichbarkeit von Ortskernen	
	Ökologische und ästhetische Faktoren	Ver- und Entsorgung	
	Vegetation		
	Lärmbelastung		
	Luftverunreinigung		
	Kleinklima		
	Visuelle Wirkungen		
	Rechtliche Faktoren		
	Schutzzone		
	Schutzgebiete		
	Demographische Faktoren		
	Bevölkerungsstruktur		
	Irrationale Faktoren		
	Image		

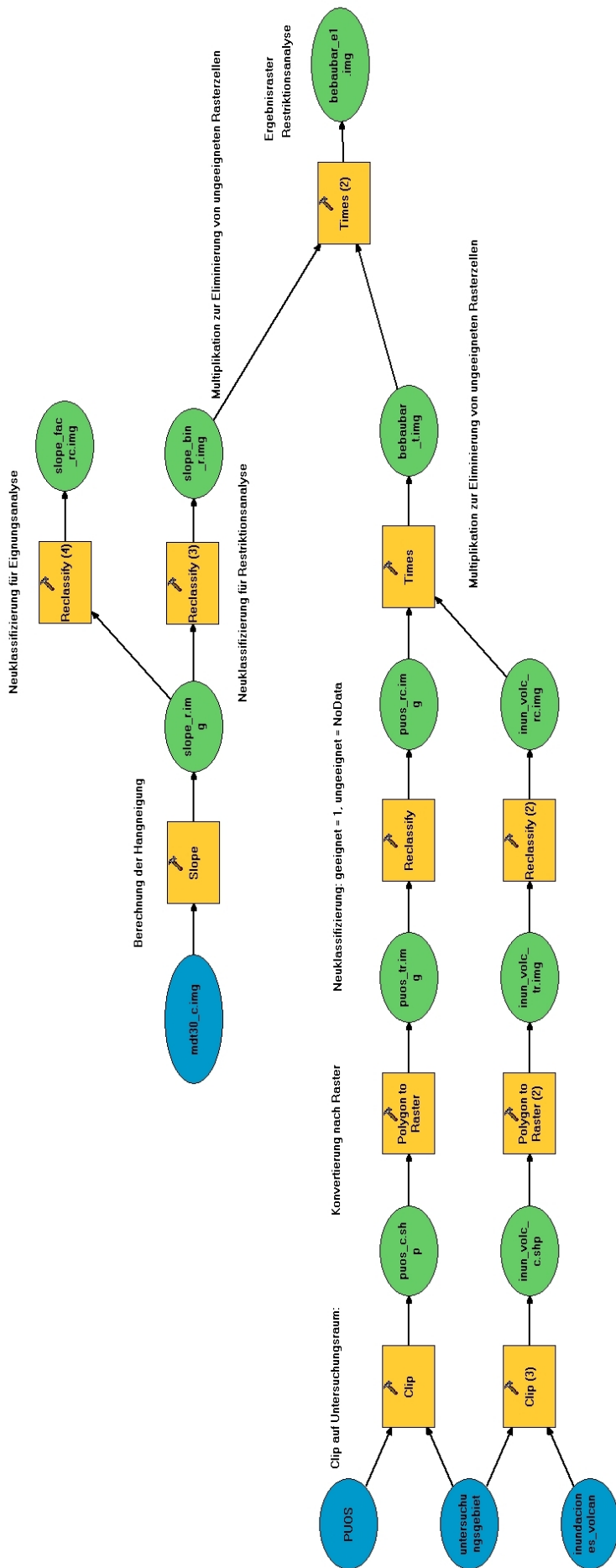
Datenquellen: PLATZNER, 2000; RÄPPEL, 1984; WINDE, 1999; YOUNGBAE, 1998; KISTENMACHER, 1988

Merkmalsgruppe	Bewertungskriterium	Kategorie	Datenshapes	Ursprungsdatensatz	Attribut	Beschreibung	Schwellwert	Kategorien	Kommtar, Quelle
Ausgangsflächen		Constraint	PUOS			"Flächen-nutzungsplan"			
Materielle Infrastruktur	Erreichbarkeit von Wohnfolgeeinrichtungen im Nahbereich							Vorgehensweise Rappell (S.158) bei Festlegung der Kriterienausprägung beim Versorgungsgrad mit Infrastruktureinrichtungen:	Richtwert + <10%: Gute (Versorgung I) Richtwert + 10-40%: Gesicherte (Versorgung II) Richtwert + >40%: Mangel (Versorgung III)
	Behörden	Faktor	ed_casas_comunales	ed_edificios	Nombre	Behörden	>12600m 9800-12600m 7700-9800m 0-7700m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.102: Aus Tabelle nach Borchert: Richtwert 7000m für Entfernung zum Rathaus
	Kindergärten	Faktor	ed_jardin	ed_edificios	Nombre	Kindergärten, Kindertagesstätte	>940m 720-940m 550-720m 0-550m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.157: Richtwert 500m
	Schulen	Faktor	ed_escuela	ed_edificios	Nombre	Schulen	>940m 720-940m 550-720m 0-550m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.157: Richtwert 500m
	weiterführende Schulen	Faktor	ed_colegio	ed_edificios	Nombre	weiterführende Schulen, Bibliotheken, Institute	>1260m 980-1260m 770-980m 0-770m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.157: Richtwert 700m
	Soziale Treffpunkte	Faktor	ed_sede_social	ed_edificios	Nombre	Soziale Einrichtungen	>1800m 1400-1800m 1100-1400m 0-1100m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.157: Richtwert 1000m
	Kirchliche Einrichtungen	Faktor	ed_religiosos	ed_edificios	Nombre	Pfarrzentrum, Kirche	>1800m 1400-1800m 1100-1400m 0-1100m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.157: Richtwert 1000m
	Gesundheitszentren	Faktor	ed_salud	ed_edificios	Nombre	Gesundheits-zentren, Krankenhäuser	>1350m 1050-1350m 825-1050m 0-825m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Die Anzahl der benötigten Gesundheitszentren richtet sich nach der Bevölkerungsdichte, da hierzu keine Informationen vorlagen, wurden als Alternative die Richtwerte der Entfernung zu <i>Gütern und Dienstleistungen des täglichen Bedarfs</i> verwendet.
	Güter und Dienstleistungen des täglichen Bedarfs	Faktor	ed_mercado	ed_edificios	Nombre	Märkte, Tankstellen, Wäscherei, Poststellen	>1350m 1050-1350m 825-1050m 0-825m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Rappell, S.157: Richtwerte 600 bis 900m (Frischfleisch, Lebensmittel, Brot, Drogerie, Schreibwaren), Wäscherei 900m; Gewählt: 750m
Technische Infrastruktur	Kulturelle Einrichtungen	Faktor	keine Daten vorhanden						
	Ver- und Entsorgung	Faktor							
	Wasser	Faktor	Lediglich Standorte der Wassertürme waren verfügbar. -->keine Rückschlüsse möglich, wie viele Bewohner, in welchem Umkreis, jeweils versorgt werden können						

Merkmalsgruppe	Bewertungskriterium	Kategorie	Datenshapes	Ursprungsdatensatz	Attribut	Beschreibung	Schwellwert	Kategorien	Kommtar. Quelle
	Energie	Faktor	nur der Standort eines Elektrizitätswerks ist aus den Daten ersichtlich -->keine Rückschlüsse auf Versorgungsbereich möglich						
	Abwasser	Faktor	keine Daten vorhanden						
	Abfall	Faktor	keine Daten vorhanden						
Verkehrssituation	Überörtliche Verkehrsbindung								
	Arbeitsplatzzentrum	Faktor	zielpunkte_centro_trabajo	centro_funcional_de_quito, NAQ		Stadtzentrum Quito, neuer Flughafen	>75min. 0 = ungeeignet 50-75min. 1 = wenig geeignet 30-50min. 2 = geeignet 0-30min. 3 = vorzüglich geeignet		Platzner (2000, S.46) nimmt für Erreichbarkeit von Regionalzentren in 30min und die von Überregionalzentren als 40-50min an.
	Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	Faktor	keine Daten vorhanden						
	Parkplätze	Faktor	keine Daten vorhanden						
	Straßenmetz	Faktor	ev_strassen						Aus diesem Straßengraph wurde ein "NetworkDataSet" für die Netzwerkanalyse in ArcGIS erstellt.
Erholung/ Freizeit	Erreichbarkeit von Grünflächen, Naherholungsgebiete, Parks	Faktor	ed_recreatividad	ed_edificios		Park, Plätze, Schwimmbad, Zoo	>2700m 0 = ungeeignet 2100-2700m 1 = wenig geeignet 1650-2100m 2 = geeignet 0-1650m 3 = vorzüglich geeignet		hängt von der Dichte der Bevölkerung und von der Kapazität der Anlagen ab, da jedoch dazu keine Daten vorhanden sind, wird der Richtwert für Spielplätze übernommen. Rappel (S.157) Richtwert 1500m
	Sportzentrum	Faktor	ed_deporte	ed_edificios	Nombre	Sportanlagen	>2700m 0 = ungeeignet 2100-2700m 1 = wenig geeignet 1650-2100m 2 = geeignet 0-1650m 3 = vorzüglich geeignet		Rappel, S.157: Richtwert 1500m
	Spielplatz	Faktor	keine Daten vorhanden						
Rechtliche Faktoren	Flächen konkurrierender Nutzung, Schon- und Vorrangbereiche, Schutzgebiete, Schutzzonen, Umweltbelange, Rechtliche Belange								
	Wasserschutzgebiete	Restriktion	innerhalb des Untersuchungsgebietes liegt nur eine kleine Fläche, welche schon als bebaut ausgewiesen ist, daher werden diese Flächen nicht berücksichtigt						
	Naturschutzgebiete	Restriktion	PUOS						schon als bebaut ausgewiesen
	Baugebietskategorie, Nutzungsbeschränkungen/Vorgaben	Restriktion	PUOS						schon als unbebaubar ausgewiesen
	Landwirtschaftliche Flächen	Restriktion	agropecuario						schon als unbebaubar ausgewiesen
	Forstwirtschaftliche Flächen	Restriktion	erosiones_cultivos						NoData = ungeeignet 1 = geeignet
	Rohstoffabbaugebiete	Restriktion	keine Daten vorhanden						nicht berücksichtigt; siehe Anmerkungen in Abschnitt 4.5.8.1
	Alltagsgebiete	Restriktion	keine Daten vorhanden						nicht berücksichtigt; siehe Anmerkungen in Abschnitt 4.5.8.1
	Landschaftsbild	Restriktion	keine Daten vorhanden						

Merkmalsgruppe	Bewertungskriterium	Kategorie	Datenshapes	Ursprungsdatensatz	Attribut	Beschreibung	Schwellwert	Kategorien	Kommtar. Quelle	
Umweltfaktoren	Gefahrenbereiche	Restriktion/ Faktor	erosiones_cultivos					NoData = ungeeignet 1 = geeignet		
		Constraint	inundaciones_volcanes					NoData = ungeeignet 1 = geeignet		
	Überschwemmungsgebiete	Restriktion/ Faktor	DMQ liegt komplett in einer seismischen Intensitätszone -->Berücksichtigung bringt keinen Informationsgewinn							
		Constraint	inundaciones_volcanes						NoData = ungeeignet 1 = geeignet	
	Erdbebengebiete	Faktor	keine Daten vorhanden							
		Faktor	keine Daten vorhanden							
	Vulkanische Aktivitäten	Constraint								
		Faktor								
	Immission/Lärmbelastung	Faktor								
		Faktor								
Wirtschaftliche Faktoren	Erschließungskosten, Topographie									
		Restriktion/ Faktor	mdt30_slope	mdt30_pais		Digitales Geländemodell als Grundlage für Hangneigungsberechnung	>16,7° 0-16,7°	NoData = ungeeignet 1 = geeignet	Kistennmacher (S.68): Die Wirtschaftlichkeit einer Erschließung hängt vom Grad der Hangneigung ab. Je steiler, desto höher die Kosten für Straßen- und Wegbau, sowie Stützmauern. Ab einer Steigung von 30% bezeichnet er ein Gebiet als für die Erschließung zu teuer. 30% Steigung entspricht einem Steigungswinkel von 16,70°.	
	Hangneigung	Faktor	mdt30_slope	mdt30_pais		Digitales Geländemodell als Grundlage für Hangneigungsberechnung	>16,7° 11,3-16,7° 5,7-11,3° 0-5,7°	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	Kistennmacher (S.68): Die Wirtschaftlichkeit einer Erschließung hängt vom Grad der Hangneigung ab. Je steiler, desto höher die Kosten für Straßen- und Wegbau, sowie Stützmauern. Ab einer Steigung von 30% bezeichnet er ein Gebiet als für die Erschließung zu teuer. 30% Steigung entspricht einem Steigungswinkel von 16,70°. Kistennmacher unterteilt die geeigneten Hanglagen in drei Unterklassen bis 10%, bis 20%, bis 30%. Für die Analyse wurde in Grad umgerechnet.	
Sozioökonomische Faktoren	Bodenbeschaffenheit	Faktor	keine Daten vorhanden							
	Image									
	Kriminalität/Sicherheit	Faktor	die Anzahl der Polizeistationen und Feuerwache hängt von der Dichte der Besiedlung ab, da mir dazu keine Informationen vorlagen, wurde dieser Faktor nicht berücksichtigt.							
	Bevölkerungsstruktur	Faktor	keine Daten vorhanden							

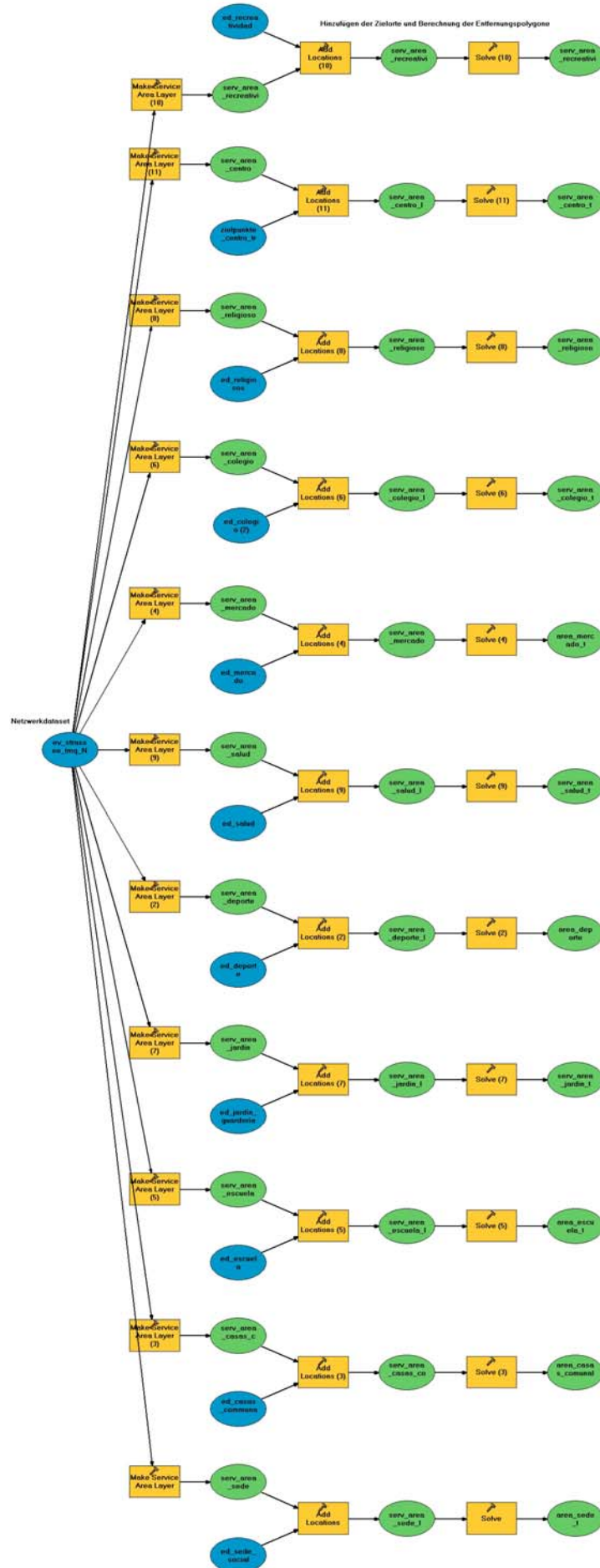


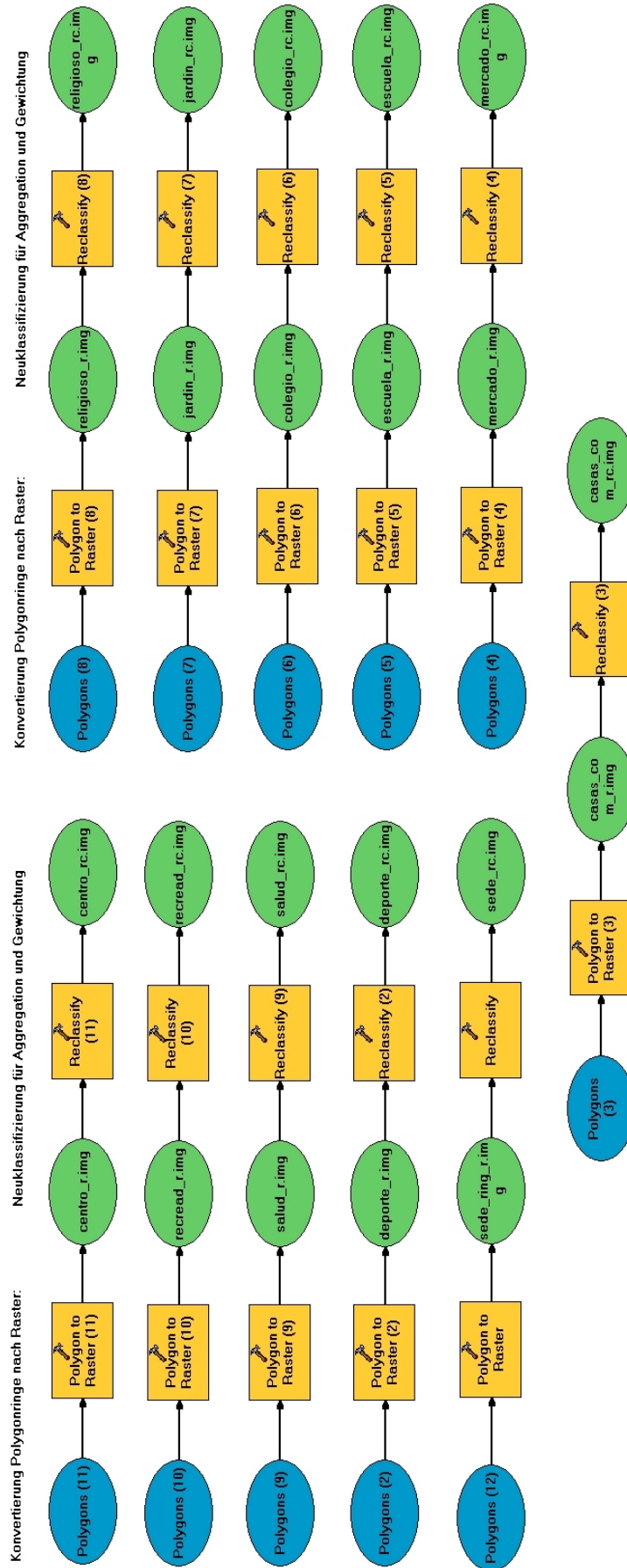


Anlage 5

Netzwerkmodell

Teil 1





Merkmalsgruppe	Bewertungskriterium	Kategorie	Beschreibung	Schwellwerte Szenario 1	Kategorien	Schwellwerte Szenario 2	Kategorien
Ausgangsflächen	erschlossene Gebiete, erschließbare Gebiete	Constraint	"Flächen-nutzungsplan"				
					Vorgehensweise Räßpel (S.158) bei Festlegung der Kriterienausprägung beim Versorgungsgrad mit Infrastruktureinrichtungen:	Vorgehensweise Räßpel (S.158) bei Festlegung der Kriterienausprägung beim Versorgungsgrad mit Infrastruktureinrichtungen:	
Materielle Infrastruktur	Erreichbarkeit von Wohlfolgeeinrichtungen im Nahbereich	Faktor	Behörden	>12600m 9800-12600m 7700-9800m 0-7700m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>12600m 6300-12600m 0-6300m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet
				>940m 720-940m 550-720m 0-550m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>940m 470-940m 0-470m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet
	Kindergärten	Faktor	Kindergarten, Kindertagesstätte	>940m 720-940m 550-720m 0-550m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>940m 470-940m 0-470m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet
	Schulen	Faktor	Schulen	>940m 720-940m 550-720m 0-550m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>940m 470-940m 0-470m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet
	weiterführende Schulen	Faktor	weiterführende Schulen, Bibliotheken, Institute	>1260m 980-1260m 770-980m 0-770m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>1260m 630-1260m 0-630m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet
	Soziale Treffpunkte	Faktor	Soziale Einrichtungen	>1800m 1400-1800m 1100-1400m 0-1100m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>1800m 900-1800m 0-900m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet
	Kirchliche Einrichtungen	Faktor	Pfarrzentrum, Kirche	>1800m 1400-1800m 1100-1400m 0-1100m	0 = ungeeignet 1 = wenig geeignet 2 = geeignet 3 = vorzüglich geeignet	>1800m 900-1800m 0-900m	0 = ungeeignet 1 = geeignet 2 = vorzüglich geeignet

Neuklassifizierung der Eignungsstufen und Veränderung der Schwellwerte

Anlage 7

Teil 1

Ergebnis der Gewichtungen

mit der AHP Extension

Szenario 1

Gewichtung auf Faktorebene

Szenario1_T1
[Preference Matrix]

	weiterf. Schulen	Erholung	Gesundheit	Religion	Kinderbetreuung	Schule	Nahversorgung	soziale Treffpunkte	Behörden	Sport
weiterf. Schulen	1	3	0,5	5	0,5	0,5	0,25	4	3	3
Erholung	0,3333	1	0,25	1	0,3333	0,3333	0,25	2	4	1
Gesundheit	2	4	1	3	0,5	1	0,5	4	6	3
Religion	0,2	1	0,3333	1	0,3333	0,3333	0,2	1	3	1
Kinderbetreuung	2	3	2	3	1	1	0,3333	3	5	3
Schule	2	3	1	3	1	1	0,3333	3	5	3
Nahversorgung	4	4	2	5	3	3	1	6	7	5
soziale Treffpunkte	0,25	0,5	0,25	1	0,3333	0,3333	0,1667	1	5	0,5
Behörden	0,3333	0,25	0,1667	0,3333	0,2	0,2	0,1429	0,2	1	0,25
Sport	0,3333	1	0,3333	1	0,3333	0,3333	0,2	2	4	1

[*****AHP results*****]

[Eigenvalues]	[Eigenvector of largest Eigenvalue]	[criteria weights]	
10,5969	0,2754	0,1071	(weiterf. Schulen)
0,0261	0,1315	0,0512	(Erholung)
0,0261	0,3569	0,1389	(Gesundheit)
-0,1139	0,1124	0,0437	(Religion)
-0,1139	0,3695	0,1438	(Kinderbetreuung)
-0,0483	0,3359	0,1307	(Schule)
-0,0483	0,6972	0,2713	(Nahversorgung)
-0,1583	0,1065	0,0414	(soziale Treffpunkte)
-0,1583	0,0538	0,0209	(Behörden)
-0,0081	0,131	0,051	(Sport)

[consistency ratio CR]
0,0442
(Revision of preference values is recommended if CR > 0.1)

Anlage 7

Teil 2

Ergebnis der Gewichtungen

mit der AHP Extension

Szenario 1

Gewichtung auf Merkmalsebene

	Wohnfolgeeinrichtungen	Arbeitsplatzzentren	Hangneigung
Wohnfolgeeinr.	1	0,3333	5
Arbeitsplatzzentren	3	1	6
Hangneigung	0,2	0,1667	1

```
[****AHP
results****]
[Eigenvalues]
    3,0941
   -0,047
   -0,047

[Eigenvector of largest Eigenvalue]
    0,4096
    0,9055
    0,1112

[criteria weights]
    0,2872 (Wohnfolgeeinr.)
    0,6348 (Arbeitsplatzzentren)
    0,078 (Hangneigung)

[consistency ratio CR]
    0,0905
(Revision of preference values is recommended if CR > 0.1)
```

Anlage 7

Teil 3

Ergebnis der Gewichtungen

mit der AHP Extension

Szenario 2

Gewichtung auf Faktorebene

Szenario2_T1
[Preference Matrix]

	weiterf. Schule	Erholung	Gesundheit	Religion	Kinderbetreuung	Schule	Nahversorgung	Soziale Treffpunkte	Behörden	Sport
weiterf. Schule	1	4	1	3	1	1	2	3	2	4
Erholung	0,25	1	0,3333	1	0,25	0,25	1	1	1	1
Gesundheit	1	3	1	5	1	1	3	5	3	3
Religion	0,3333	1	0,2	1	0,25	0,25	0,5	1	2	1
Kinderbetreuung	1	4	1	4	1	2	3	5	2	4
Schule	1	4	1	4	0,5	1	3	5	2	4
Nahversorgung	0,5	1	0,3333	2	0,3333	0,3333	1	3	3	2
Soziale Treffpunkte	0,3333	1	0,2	1	0,2	0,2	0,3333	1	2	3
Behörden	0,5	1	0,3333	0,5	0,5	0,5	0,3333	0,5	1	0,5
Sport	0,25	1	0,3333	1	0,25	0,25	0,5	0,3	2	1

[***** AHP results*****]

[Eigenvalues]	[Eigenvector of largest Eigenvalue]	[criteria weights]	
10,62	1	0,1513	(weiterf. Schule)
0,0425	0,3147	0,0476	(Erholung)
0,0425	1,1473	0,1736	(Gesundheit)
-0,1616	0,3124	0,0473	(Religion)
-0,1616	1,2482	0,1889	(Kinderbetreuung)
-0,2273	1,0871	0,1645	(Schule)
-0,0806	0,5389	0,0815	(Nahversorgung)
-0,0806	0,3489	0,0528	(Soziale Treffpunkte)
0,0034	0,3143	0,0476	(Behörden)
0,0034	0,2971	0,0449	(Sport)

[consistency ratio CR]
0

(Revision of preference values is recommended if CR > 0.1)