

Vergleich verschiedener multikriterieller Bewertungsverfahren mit MapModels

Andreas HOCEVAR, Leopold RIEDL

(Dipl.-Ing. Andreas Hocevar, TU Wien, Institut für Stadt- und Regionalforschung, Karlsplatz 13, 1040 Wien, andreas.hocevar@tuwien.ac.at
Dipl.-Ing. Leopold Riedl, TU Wien, Institut für Stadt- und Regionalforschung, Karlsplatz 13, 1040 Wien, leopold.riedl@tuwien.ac.at)

1 ZUSAMMENFASSUNG

In räumlichen Entscheidungssituationen (z.B. bei der Suche nach geeigneten Standorten für eine bestimmte Nutzung) kommen im Rahmen von sog. Spatial Decision Support Systems (SDSS) häufig multikriterielle Verfahren zum Einsatz (Multi-Criteria Evaluation, MCE, vgl. Eastman et al., 1995). Während die Sensibilität dieser Verfahren bezüglich der Aufbereitung der Einzelkriterien (unterschiedliche Skalenniveaus, Standardisierung) den meisten Anwendern bewusst ist, wird die Aggregationsmethode zur Ermittlung eines Gesamtbewertungsindex kaum hinterfragt, weil sie häufig im Bewertungsverfahren vorgegeben ist (z.B. Nutzwertanalyse). Dass diese aber eine Entscheidungsstrategie vorgibt und somit wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat, bleibt daher vielfach unbeachtet.

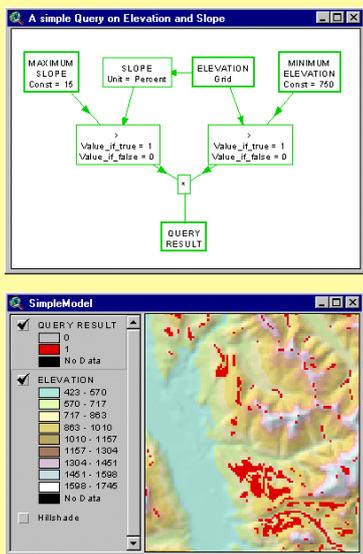
Im Workshop werden die Aggregationstechniken „Boolean Intersection“ (Jones, 1997), „Weighted Linear Combination“ (WLC, vgl. Voogd, 1983) und „Ordered Weighted Average“ (OWA, vgl. Yager, 1988 sowie Jiang, Eastman, 2000) theoretisch und methodisch vorgestellt, mit Hilfe der auf der TU Wien entwickelten ArcView-Extension „MapModels“ praktisch umgesetzt sowie hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Bewertungsergebnisse analysiert und interpretiert.

2 MAPMODELS

MAPMODELS ist eine an der TU-Wien entwickelte visuelle Programmiersprache zur Erstellung räumlicher Analysemodelle, wobei dem Anwender mit Hilfe einer graphischen, auf Flowcharts aufgebauten Benutzerschnittstelle weitgehende Möglichkeiten zur explorativen Analyse und adhoc-Modellierung räumlicher Fragestellungen geboten werden, ohne daß Programmierkenntnisse im engeren Sinn vorausgesetzt werden müssen (Riedl und Kalasek 1998). Die erstellten Modelle bestehen aus ausführbaren Flußdiagrammen, welche in der aktuellen Version 2 auch ineinander geschachtelt werden können (Riedl und Kalasek 2002).

MapModels hat sich in der Umsetzung von GIS-gestützten Bewertungsmodellen bewährt. Als inhaltlich weit gestreute Beispiele seien hier die Suche nach Standorten für Windkraftanlagen im Schwarzwald (Konrad und Riedl 2001), die bewertende Überprüfung von örtlichen Entwicklungskonzepten auf Rechtskonformität (Sanopoulos und Riedl 2001) und die Identifizierung von vorrangigen Verdachtsflächen für potentiellen Borkenkäferbefall in der Hohen Tatra (Netherer et al. 2002) angeführt.

Aus der MAPMODELS-Homepage stammt folgendes einfaches Beispiel zur Veranschaulichung der Funktionsweise.



Ein einfaches Beispiel

Sie suchen **relativ flache** (maximal 15% Hangneigung) und **hoch gelegene** (über 750m Seehöhe) Gebiete.

Nebenstehendes **Datenflußdiagramm** berechnet alle notwendigen Daten aus einem gegebenen Höhenmodell (*elevation*) und den vom Benutzer festgelegten Grenzwerten.

Das **Ergebnis** (*query result*) wird in einer View angezeigt.

Sie können nun die **Parameter** im obigen Modell mit einem Mausklick **ändern** (z.B. auf höchstens 5% Hangneigung) und das **Resultat** wird je nach Systemeinstellung entweder automatisch oder auf Knopfdruck **aktualisiert**.

Abb. 1: MAPMODELS-Beispiel
(Quelle: <http://srf.tuwien.ac.at/MapModels/MapModels.html>, RIEDL 2000)

3 MULTIKRITERIELLE VERFAHREN IN RÄUMLICHEN FRAGESTELLUNGEN

Das Grundprinzip multikriterieller Verfahren besteht darin, für eine Entscheidung relevante Ziele („Objectives“) zu formulieren. Ein solches Ziel wird dann in Kriterien („Criteria“) unterteilt, an Hand derer sich der Zielertrag („Score“) der zu untersuchenden Varianten ermitteln lässt. Die Zielerträge der einzelnen Kriterien werden unter optionaler Einbeziehung von Gewichtungen („Weights“) zu einem Bewertungsindex („Suitability“) aggregiert, der eine Reihung der Varianten hinsichtlich des angestrebten Ziels ermöglicht (vgl. Eastman et al., 1995). Dieses Prinzip ist natürlich ausdehnbar auf mehrere Ziele bzw. eine Zielhierarchie. In räumlichen Fragestellungen ist das Ergebnis in der Regel nicht eine einzelne Zahl (Bewertungsindex der jeweils untersuchten Variante), sondern eine Karte mit einem Raster, auf der für jeden Rasterpunkt ein Bewertungsindex dargestellt ist.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit ein Beispiel: es soll der ideale Standort für einen bestimmten Industriebetrieb gesucht werden. „Idealer Standort“ ist dabei ein sehr abstraktes Ziel. Wenn beispielsweise ein hochwertiger Straßenanschluss notwendig ist, die Umgebung möglichst unbesiedelt sein soll und eine ebene Fläche benötigt wird, könnten wir folgende Kriterien festlegen:

- Nähe zu einer höherrangigen Straße
- Wenige Gebäude in der Umgebung
- Geringe Hangneigung

Ab diesem Punkt ist die Vorgehensweise unterschiedlich, je nach beabsichtigtem Aggregationsverfahren.

3.1 Boolean Intersection

Dieses Verfahren ist das einfachste, da jedes Kriterium nur „erfüllt“ (1) oder „nicht erfüllt“ (0) sein kann. In der Praxis kommt es hauptsächlich zum Einsatz, um „Tabuflächen“, wie z.B. Biotope, Naturschutzgebiete o.ä. auszuschließen. In diesem Fall wird eine ODER-Verknüpfung angewendet. Für einfache Aufgabenstellungen können auch mit Hilfe einer UND-Verknüpfung geeignete Flächen gefunden werden. Formulieren wir dazu die genannten drei Kriterien folgendermaßen:

- Straße 1. oder 2. Ordnung im Umkreis von 300 m
- Höchstens 5 % bebaute Fläche im Umkreis von 500 m
- Hangneigung maximal 3 %

Um zu einem Bewertungsindex zu gelangen, werden die Kriterien also mit Hilfe einer logischen UND-Verknüpfung aggregiert (Abb. 2a und 2b). Sind alle Kriterien erfüllt, ist das Ergebnis „erfüllt“ (1), ansonsten „nicht erfüllt“ (0). In diesem Verfahren werden keine Zielerträge ermittelt und keine Gewichtungen vorgenommen.

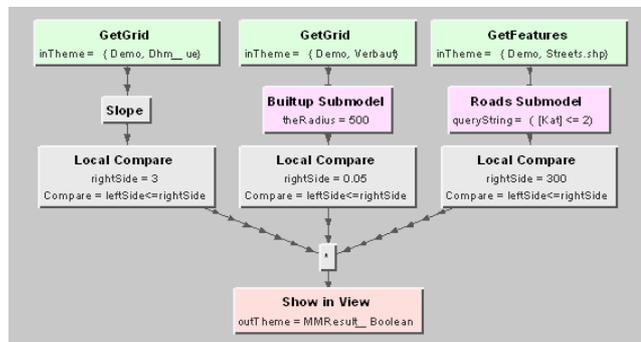


Abb.2a: Boolean Intersection in MapModels

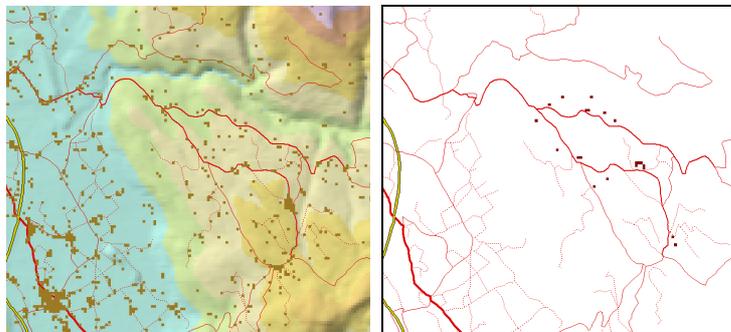


Abb.2b: Boolean Intersection: Ausgangsdaten (links: Höhenmodell, Bebauung, Straßen) und Ergebnis (rechts: mit Straßen)

Andere Verfahren unterscheiden sich von diesem dadurch, dass

- der Zielertrag eines Kriteriums mehr Ausprägungen hat als nur 1 oder 0,
- die einzelnen Kriterien im Zuge der Aggregation gewichtet werden, um die unterschiedliche Wichtigkeit der Kriterien zu berücksichtigen.

3.2 Exkurs 1: Zielertrag

Anstatt der scharfen Abgrenzung zwischen „geeignet“ und „nicht geeignet“ ist bei der Verwendung von Zielerträgen eine einheitliche, standardisierte Skala für alle Kriterien notwendig, anhand derer die Eignung gemessen wird.

Die Zielfunktion kann endogen (aus den vorkommenden Werten; „data driven“) oder exogen (aus technischen oder rechtlichen Vorgaben) festgelegt werden.

Bei der Beurteilung der Entfernung einer höherrangigen Straße wäre es beispielsweise denkbar, die niedrigste und die höchste vorkommende Entfernung als Skalierungspunkte zu verwenden und dazwischen eine lineare Funktion zu verwenden, wodurch man Werte zwischen 0 und 1 erhält (Eastman et al., 1995):

$$x_i = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min})$$

x_i ... Zielerfüllungsgrad des i-ten Kriteriums

R ... ursprünglicher Messwert (z.B. Distanz in m)

In der Praxis ist dieser Ansatz jedoch nur sinnvoll, wenn es keine vorgegebene Schranke gibt, ab der die Entfernung zur Straße nicht mehr akzeptabel ist. Ein weiteres Beispiel für endogene Standardisierung über Mittelwert und Standardabweichung findet sich in einer Evaluation der städtischen Lebensqualität für die Stadt São Carlos in Brasilien (Mendes u. Motizuki, 2001).

Eine exogene Festlegung der Zielfunktion ist z.B. notwendig, wenn die Entfernung der Straße in einem gewissen Bereich eher egal, ab einem definierten Schwellenwert stärker abnehmend und ab einem weiteren Schwellenwert nicht mehr akzeptabel ist. In diesem Fall bietet sich die Verwendung von sog. Fuzzy Sets an (Abb.3, vgl. Benedikt et al., 2002).

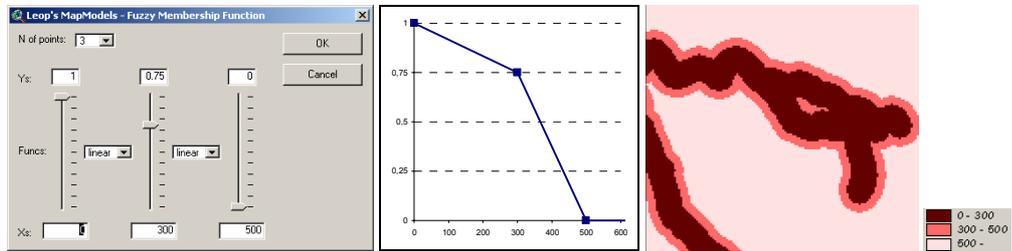


Abb.3: Fuzzy Membership Function für die Nähe zu einer Straße in MapModels (links), in Diagrammdarstellung (Mitte). Die Entfernungsklassen sind in der Karte rechts dargestellt.

Damit ist die Zielfunktion definiert: die Eignung nimmt bis zu einer Entfernung von 300 m linear ab, und zwar auf den Wert 0,75. Bei noch größerer Entfernung nimmt die Eignung stärker linear ab, und ab 500 m ist die Eignung 0.

Analog dazu lassen sich Zielfunktionen für die Flachheit des Geländes und die geringe Bebauungsdichte festlegen.

3.3 Weighted Linear Combination (WLC)

Bei diesem Verfahren (Voogd, 1983), das aus der Nutzwertanalyse kommt, werden die standardisierten Zielerträge gewichtet. Damit kann verschiedenen Werthaltungen, z.B. im Rahmen einer Bürgerbeteiligung am Planungsprozess, Ausdruck verliehen werden. Die gewichteten Zielerträge werden dann summiert. Die Gewichtung erfolgt so, dass die Summe der vergebenen Gewichte über alle Kriterien 1 bzw. 100 % ergibt:

$$S = \sum w_i x_i$$

S ... Eignung (Suitability)

w_i ... Gewichtung für das i-te Kriterium

x_i ... Zielerfüllungsgrad des i-ten Kriteriums

Der Wert für die Eignung liegt zwischen 0 und 1 und ist umso besser, je näher er bei 1 liegt.

Das MapModels-Beispiel zeigt den Einsatz von Fuzzy Membership Funktionen (siehe auch Abb. 3) sowie unterschiedlicher Gewichte (Knoten „Weighted Overlay“). Die notwendige Normalisierung der Gewichte ($\sum w_i = 1$) wird intern von MapModels erledigt.

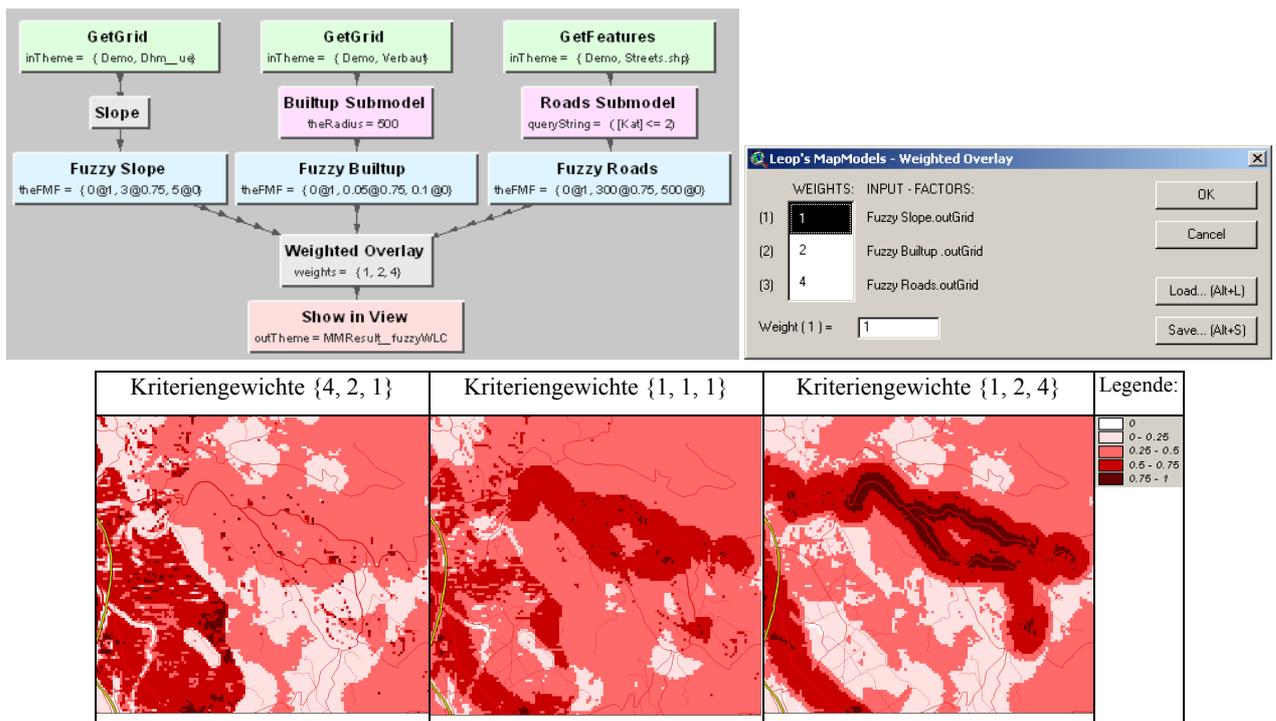


Abb. 4: WLC in MapModels (links oben) und Eingabedialog für die Kriteriengewichte (rechts oben); WLC mit verschiedenen Gewichtungen (unten)

3.4 Exkurs 2: Gewichtung mit Hilfe des Analytical Hierarchy Process (AHP)

Bei einer geringen Anzahl von Kriterien ist es zumutbar, die Gewichtung z.B. über ein 7-stufiges Punktesystem zu realisieren und die Werte anschließend auf eine Skala von 0 bis 1 zu normalisieren (Osgood et al., 1957). Wenn hingegen viele Kriterien gewichtet werden müssen, empfiehlt sich die Methode des „Analytical Hierarchy Process“ (AHP, vgl. Saaty, 1980 und Eastman et al., 1995). Dabei werden jeweils zwei Kriterien im Sinne von „wichtiger als“ verglichen, wobei auch mehrere Stufen der „höheren Wichtigkeit“ verwendet werden können (z.B. „gleich wichtig“ = 1, „etwas wichtiger“ = 3, „viel wichtiger“ = 5, „sehr viel wichtiger“ = 7, „extrem wichtiger“ = 9). Doch auch bei dieser Methode wird der Anwender nicht automatisch davor bewahrt, den Überblick zu verlieren, wie nachstehendes Beispiel verdeutlicht:

- A ist extrem wichtiger als B
- B ist etwas wichtiger als C
- A ist viel wichtiger als C

Wie sich leicht erkennen lässt, ist die Bewertung nicht konsistent, da sich durch die dritte Aussage die erste relativiert. Um dem Rechnung zu tragen, wird in diesem Verfahren Nach einer relativ komplexen Berechnungsmethode (Eigenwertverfahren) neben den Gewichten für die WLC-Bewertung selbst auch eine Konsistenzmaßzahl ermittelt, die über die Zuverlässigkeit der abgegebenen paarweisen Vergleiche Aufschluss gibt. Ein Ergebnis mit einer Konsistenzmaßzahl von 0 – 0,1 kann als konsistent angesehen werden, Gewichtungen mit einer Konsistenzmaßzahl über 0,1 sollten nicht verwendet werden (vgl Eastman et al., 1995).

INPUT - FACTORS :	(1) (2) (3)	(1) (2) (3)	(1) (2) (3)
(1) ... Fuzzy Slope.outGrid	(1) 1 0.5 0.25	(1) 1 0.5 0.5	(1) 1 0.5 3.0303
(2) ... Fuzzy Builtup .outGrid	(2) 2 1 0.5	(2) 2 1 0.5	(2) 2 1 0.5
(3) ... Fuzzy Roads.outGrid	(3) 4 2 1	(3) 2 2 1	(3) 0.33 2 1
Interpretation der Matrix: Werte in Zeile (i), Spalte (j) drücken die Präferenz des Kriteriums (i) über das Kriterium (j) aus.	Pairwise Comparison Matrix (AHP) Weights = {0.142857, 0.285714, 0.571429} ConsistencyRatio = 0	Pairwise Comparison Matrix (AHP) Weights = {0.197619, 0.311905, 0.490476} ConsistencyRatio = 0.0463292	Pairwise Comparison Matrix (AHP) Weights = {0.370685, 0.332228, 0.297088} ConsistencyRatio = 0.633253

Abb. 5: Verschiedene paarweise Gewichtungen sowie daraus abgeleitete Gewichte (weights) und Konsistenzmaßzahlen (Consistency Ratio): völlig konsistent (links), konsistent (Mitte), nicht konsistent (rechts).

3.5 Ordered Weighted Average (OWA)

Während die Boole'sche Und-Verknüpfung eine Variante ausschließlich dann als geeignet aufweist, wenn alle Kriterien erfüllt sind (bzw. ausschließt, sobald ein Kriterium auch nur knapp nicht erfüllt ist), kann bei Aggregation mittels WLC eine Variante gut abschneiden, selbst wenn sie das eine oder andere Kriterium überhaupt nicht erfüllt. Da alle Teilnutzwerte zusammengerechnet werden, können schlechte Eignungen eines Kriteriums durch gute Eignungen anderer Kriterien weitgehend kompensiert werden (Tradeoff).

Die Bedeutung des interessanten Ansatzes der Aggregation mit Ordered Weighted Average (Yager, 1998) liegt nun darin, dass er eine Möglichkeit bietet, das Entscheidungsrisiko sowie die Substituierbarkeit (Tradeoff) von Kriterien zu steuern. Das Risiko wird dabei als hoch verstanden, wenn für die aggregierte Eignung der höchste Teilnutzwert der vorkommenden Kriterien herangezogen wird (Maximum, Charakter einer ODER-Verknüpfung), und gering, wenn der niedrigste Teilnutzwert als Gesamteignung angegeben wird (Minimum, Charakter einer UND-Verknüpfung). Die Methode der WLC hingegen bietet bei mittlerem Entscheidungsrisiko eine volle Substituierbarkeit der Teilnutzwerte. So lassen sich alle drei Entscheidungsstrategien anhand der Grafik in Abb. 6 in Zusammenhang bringen:

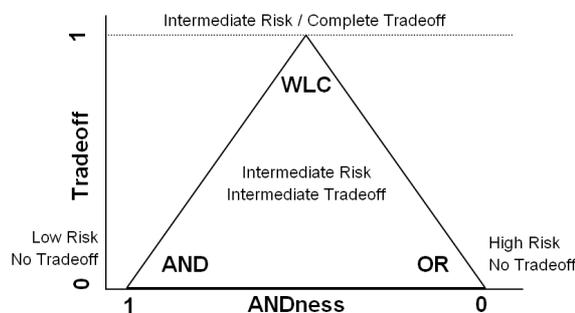


Abb. 6: Zusammenhang der Entscheidungsstrategien UND-Verknüpfung (min), ODER-Verknüpfung (max) und WLC (nach Jiang, Eastman, 2000).

OWA ist nun eine Methode, mit der für die Entscheidungsstrategie jede beliebige Kombination aus Tradeoff und Risiko (innerhalb des Dreiecks aus Abb. 5) verwendet werden kann. Die Methode selbst (Jiang u. Eastman, 2000) basiert darauf, dass die Zielerträge der Kriterien zunächst nach ihrem numerischen Wert aufsteigend sortiert, und in der so erhaltenen Reihenfolge mit einem Satz von Gewichten, den sog. „Order Weights“, versehen werden. Diese Gewichte beziehen sich somit nicht auf die Kriterien selbst, sondern auf deren Reihenfolge für die jeweils betrachtete Alternative (=Rasterzelle im räumlichen Kontext).

Zur Veranschaulichung ein Beispiel:

- Zielerträge: A: 0,6; B: 0,7; C: 0,3
- Reihenfolge: C, A, B
- Order weights: 0,5; 0,3; 0,2
- Gesamtnutzwert: $0,5 C + 0,3 A + 0,2 B = 0,47$

Die Order Weights stellen somit keine Werthaltung zu bestimmten Kriterien dar, sondern legen eine Entscheidungsstrategie fest. Beispielsweise wäre ein Satz der Order Weights [0; 1; 0] gleichzusetzen mit der Strategie „bestes und schlechtestes Ergebnis streichen“, was aus diversen Sportwettkämpfen bekannt ist. Die Order Weights [1; 0; 0] sind identisch mit einer UND-Verknüpfung, da der Gesamtnutzwert dann mit dem schlechtesten Zielertrag identisch ist (kein Risiko bei der Entscheidung). [0; 0; 1] hingegen bedeutet ODER-Verknüpfung, der Gesamtnutzwert ist identisch mit dem besten Zielertrag (hohes Risiko bei der Entscheidung). Die Gewichtung [1; 1; 1] schließlich entspricht der Methode der WLC, indem die Zielerträge der Kriterien voll substituierbar sind.

Um die Entscheidungsstrategie wählen zu können, sind die Parameter ANDness, ORness und Tradeoff von Bedeutung:

$$ANDness = (1/(n-1)) \sum (n-i) W_i$$

$$ORness = 1 - ANDness$$

$$Tradeoff = 1 - \sqrt{\frac{n \sum (W_i - 1/n)^2}{n-1}}$$

Order Weights	ANDness	ORness	Tradeoff
1 0 0	1,00	0,00	0,00
2 1 0	0,83	0,17	0,42
4 2 1	0,71	0,29	0,62
0 1 0	0,50	0,50	0,00
1 1 1	0,50	0,50	1,00
1 2 4	0,29	0,71	0,62
0 1 2	0,17	0,83	0,42
0 0 1	0,00	1,00	0,00

Diese Parameter haben jeweils Werte zwischen 0 und 1 und geben den Grad der Erfüllung des Parameters an. So bedeutet z.B. ein hoher Wert für ANDness ein risikoarmes Ergebnis, ein hoher Wert für Tradeoff bedeutet eine starke Substitutionsmöglichkeit zwischen den Einzelkriterien.

In MapModels werden ANDness, ORness und Tradeoff nach Durchrechnung des Modells im Knoten „OWA Overlay“ angezeigt.

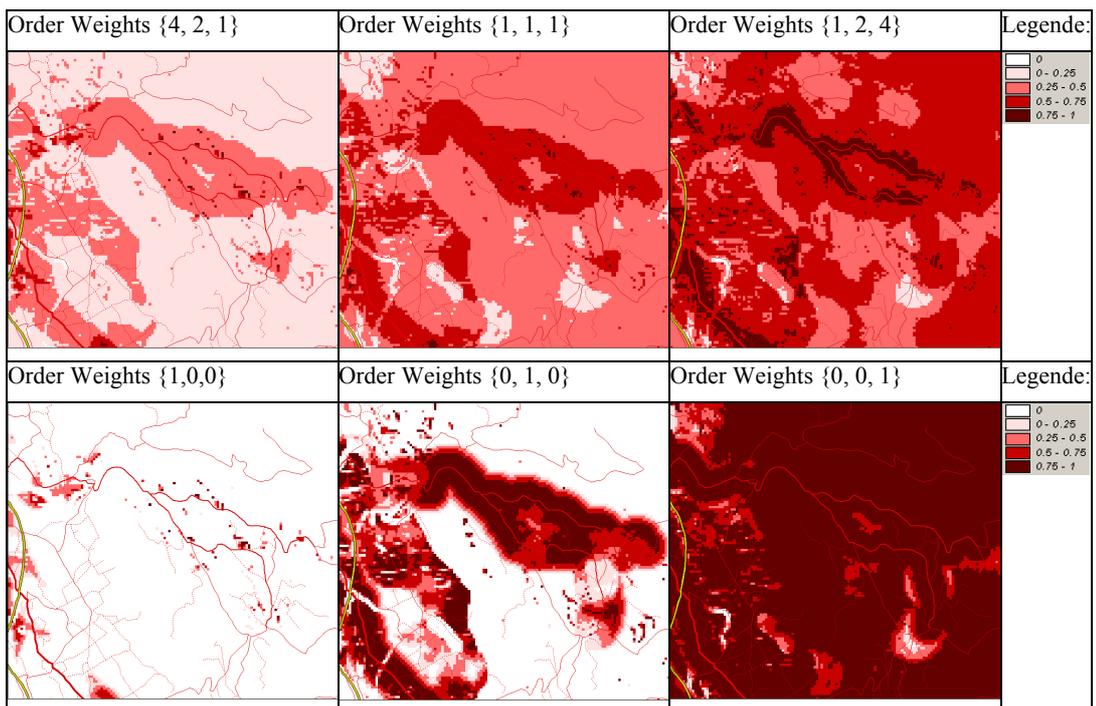
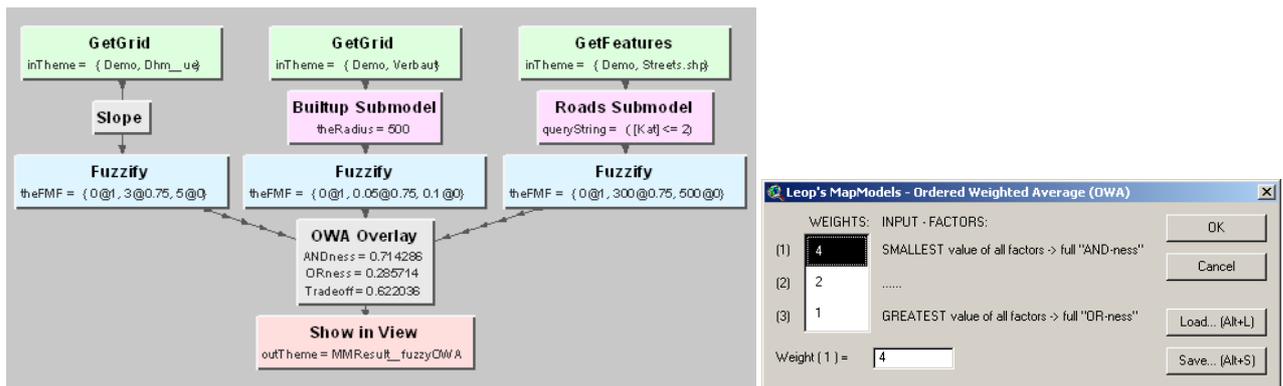


Abb. 7: OWA in MapModels (links oben) und Eingabedialog für die Order Weights (rechts oben); OWA mit verschiedenen Gewichtungen (unten)

4 VERGLEICH UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Das häufig eingesetzte WLC-Verfahren hat die Eigenschaft, bei durchwegs guten Ergebnissen mit einem schlechten „Ausreißer“ ein dennoch gutes Ergebnis zu liefern. Unerlässlicher Bestandteil des WLC-Verfahrens ist eine Sensitivitätsanalyse, um festzustellen, wie stabil das Ergebnis gegenüber unterschiedlichen Gewichtungen ist. Im Fall des Beispiels aus Abbildung 4 gibt es nur ganz kleine Flächen, die unabhängig von der Gewichtung eine hohe Eignung aufweisen. Will man ein geringes Entscheidungsrisiko, sind diese Flächen zu bevorzugen. Im OWA-Verfahren lässt sich dieses Verhalten durch Wahl einer hohen ANDness erreichen. Auch bei der Boolean Intersection erhält man ein risikoarmes Ergebnis, oftmals findet dieses Verfahren aber gar keine geeigneten Flächen.

Die vorangegangenen Ausführungen zeigten exemplarisch die Sensibilität der Gesamtergebnisse bezüglich der verwendeten Aggregationsmethoden und Gewichtungparameter. Es ist daher im Rahmen einer multikriteriellen Analyse unbedingt notwendig, die Eignung der verschiedenen methodischen Ansätze zur Verknüpfung von Einzelkriterien für eine konkrete inhaltliche Fragestellung kritisch zu hinterfragen.

Durch die Kombination des WLC- und des OWA-Verfahrens lassen sich Aufgabenstellungen bewerkstelligen, wo nicht alle Einzelkriterien aggregationstechnisch über denselben Kamm zu scheren sind (weil z.B. manche Kriterien einander mehr substituieren und andere eben weniger): In diesem Fall muss der Aggregationsschritt in mehrere Einzelschritte aufgelöst werden, in denen die Kriterien sukzessive gemäß fachlich-inhaltlicher Erwägungen jeweils auf geeignete Art und Weise miteinander verknüpft werden.

Das OWA-Verfahren kann zudem auch sehr gut zur Integration unterschiedlicher Gewichtungen aus einer Expertenbefragung oder einem Bürgerbeteiligungsverfahren herangezogen werden. Die z.B. mit Hilfe von WLC ermittelten Ergebnisse auf Basis der Gewichtung durch verschiedene Personen(-gruppen) können so – bei hinreichend hoch gewählter "ANDness" – auf ihren kleinsten gemeinsamen Nenner untersucht werden, was die Identifizierung von relativ kompromissträchtigen Planungsvarianten erleichtert.

Das Wissen um die Auswirkungen verschiedener Aggregationstechniken in Bewertungsverfahren auf das Ergebnis ersetzt jedoch nicht die inhaltliche Auseinandersetzung als Grundlage für die Lösung von räumlich ausgeprägten Interessenkonflikten und Entwicklungsfragen.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- Benedikt, J., Reinberg, S., Riedl, L. (2002): A GIS application to enhance cell-based information modeling, in: *International Journal of Information Sciences*, Vol. 142 (2002), Elsevier, pp. 151–160.
- Eastman J.R., Kyem P.A.K., Toledano J., Jin W. (1995): GIS and Decision Making, United Nations Institute for Training and Research, Explorations in: *Geographic Information Systems Technology*, Volume 4, Geneva 1995, pp. 35-39.
- Jiang H., Eastman J.R. (2000): Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS, in: *Int. Journal of Geographical Information Science*, 2000, Vol. 14, No. 2, pp. 173-184.
- Jones, C. (1997): *Geographical Information Systems and Computer Cartography*, 1997, pp. 215-230.
- Konrad, C., Riedl L. (2001): Frische Brise – GIS-gestützte Standortsuche für Windkraftanlagen im Nordschwarzwald, in *GeoBIT – Magazin für raumbezogene Informationstechnologie* 7/2001, Wichmann Verlag, pp. 16-18.
- Mendos, J.F.G., Motizuki, W.S. (2001): Urban Quality of Life Evaluation Scenarios: The Case of São Carlos in Brazil, in: *The Professional Journal of the Council On Tall Buildings and Urban Habitat*, Vol. 1, No. 2, February 2001
- Osgood, C.E., Suci, G.J., Tannenbaum, P.H. (1957): *The Measurement of Meaning*, University of Illinois Press, Urbana 1957.
- Netherer S., Pennerstorfer J., Kalasek R., Riedl L. (2002): Spatial Analysis in Forest Protection Using the Visual Modelling Tool MapModels, in: Pillmann/Tochtermann (Eds.): *Environmental Communication in the Information Society (proceedings of EnviroInfo 2002)*, Vienna 2002, pp (part 1) 575-581.
- Reinberg S., Bröthaler J. (1997): Integration von Fuzzy-Methoden in Bewertungsverfahren, in: Schrenk, M. (Hrsg.): *Computergestützte Raumplanung – Beiträge zum Symposium CORP97*, Selbstverlag des Instituts für EDV-gestützte Methoden in Architektur und Raumplanung der TU-Wien 1997, pp. 51-63.
- Riedl L, Kalasek R (1998): MapModels – Programmieren mit Datenflußgraphen, in Strobl/Dollinger (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationstechnologie, Beiträge zum Symposium AGIT X*, 1998, Wichmann Verlag, pp. 279-288.
- Riedl L, Kalasek R (2002): Hierarchisches Modellieren mit MapModels, in: Strobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV, Beiträge zum Symposium AGIT2002 Salzburg*, Wichmann Verlag, pp. 446-452.
- Saaty T. (1980): *The Analytical Hierarchy Process*, John Wiley, New York, 1980.
- Sanopoulos A., Riedl L. (2001): FläwiCheck – GIS-gestützte Überprüfung von Flächenwidmungsplänen, in M. Schrenk (Hrsg.): *Beiträge zum Symposium CORP2001*, Wien Feb. 2001, pp 439-444.
- Voogd H. (1983): *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*, Pion, London 1983.
- Yager R.R. (1998): On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operations in Multicriteria Decision Making, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 8(1) 1998, pp. 183-190.