3.4 Klein- und mittelmaßstäbige Landschaftsbewertung unter Einbeziehung der Theorie der unscharfen Mengen

Uta Steinhardt

3.4.1 Problemstellung

Landschaftsbewertungen müssen heute sowohl der Anforderung nach einer naturwissenschaftlich fundierten Gewinnung und integrativer Aufarbeitung landschaftsökologischer Basisdaten als auch nach einer Anwendbarkeit und Umsetzung in der Planung, die wiederum gesellschaftlich determiniert ist, genügen. Die daraus resultierenden Widersprüche werden u.a. von BARSCH et al. (1994) kritisiert und zum Anlaß genommen, Lösungsansätze für die momentane Unvereinbarkeit von natur- und sozialwissenschaftlichen Aspekten zu erarbeiten. Im Hinblick auf eine ausgewogenen Realisierung aller landschaftlichen Grundfunktionen (Regulations-, Produktions-, Standort- und Informationsfunktion) als Grundlage einer nachhaltigen und damit notwendig umweltverträglichen Entwicklung sollte die Landschaftsbewertung die Ausweisung von Präferenzräumen für bestimmte Nutzungsformen bei Sicherung einer Mehrfachnutzung sowie eine Optimierung aller in Betracht kommenden Gestaltungsvarianten vorbereiten.

Die wesentliche Schwäche landschaftlicher Bewertungsverfahren ist darin zu sehen, daß das Bestreben, die reell existierende aber nicht zu erfassende Komplexität ökologischer Phänomene oft in ein derartig kompliziertes Verfahren mündet, das für den Planer in der Praxis kaum noch nachvollziehbar ist. Forschungsbedarf besteht deshalb weniger in der Entwicklung neuer Bewertungsverfahren als vielmehr in der Suche und begründeten Auswahl von geeigneten Indikatoren landschaftshaushaltlicher Funktionen.

Als räumliche Bezugseinheiten der Landschaftsbewertung stehen Naturräume, Wirtschafts- und Sozialräume (Lebensräume) sowie Landschaftsräume als unterschiedliche geographische Raumkategorien zur Disposition. Allgemeingültige Kriterien zur Abgrenzung dieser Raumkategorien gibt es nicht. In der Flächennutzung als Art und Prozeß der Inanspruchnahme von Teilen der Erdoberfläche durch die Gesellschaft manifestiert sich die Kopplung von Natur und Gesellschaft am deutlichsten. Somit sind (individuelle oder typisierte) Landschaftseinheiten als Synthese aus Naturraumtypen, Flächennutzungsformen und topographischen Kriterien der räumliche Ausdruck der Wechselwirkung zwischen Natur und Gesellschaft und als Basisflächen der Bewertung, die - wie oben gezeigt - sowohl natur- als

auch gesellschaftswissenschaftlichen Anforderungen genügen sollen geeignet. Eine solche von KRÖNERT (1996) erarbeitete Landschaftsgliederung für den Ballungsraum Leipzig-Halle und angrenzende Gebiete liegt vor.

Während naturräumliche Grenzen mehr oder weniger als langfristig stabil angenommen werden können, müssen Landschaftsgrenzen bei Nutzungsänderungen stets neu bestimmt werden. Da jedoch die Grundgrößen des Landschaftshaushaltes ganz wesentlich von der Landbedeckung und Landnutzung geprägt werden, ist es legitim, die Landschaftseinheiten zunächst als quasihomogene Bezugsräume aufzufassen. Dies ist auch Voraussetzung, da gängige Verfahren zur Bewertung ausgewählter Landschaftsfunktionen in der Regel auf großmaßstäbigen Datenerhebungen basieren und sich auf mehr oder weniger naturräumlich homogene Einheiten beziehen bzw. auf Flächen, die sich aus der kleinsten Geometrie der Verschneidung von Naturraum- und Flächennutzungseinheiten ergeben.

Solche handhabbaren Bewertungsverfahren, die im Wesentlichen auf dem Ansatz der Kombination von Potentialkonzepten von HAASE (1978) und MANNSFELD (1978) basieren, sind u.a. bei HENNINGS (1994) und MARKS et al. (1992) zusammengestellt, und BARSCH et al. (1994) zeigt Möglichkeiten ihrer Anwendung. Diese Bewertungsverfahren galt es auf das o.g. Untersuchungsgebiet anzuwenden.

Für die Landschaftseinheiten im Kernraum des Untersuchungsgebietes standen als Bewertungsgrundlage folgende Basisdaten zur Verfügung:

- Flächengröße
- prozentualer Anteil von Bodenarten
- prozentualer Anteil von Flächennutzungsformen
- prozentualer Anteil von Grundwasserflurabstandsklassen
- Jahressumme des Niederschlages
- Jahressumme der reellen Evapotranspiration
- Jahressumme des oberirdischen Abflusses
- geologische Entstehung, Hangneigungsklassen
- Jahresmitteltemperatur.

Auf dieser Datengrundlage sollte mit Bezug auf die o.a. Verfahren eine Bewertung der Zielgrößen Erosionsgefährdung durch Wasser, Erosionsgefährdung durch Wind, Grundwasserschutz, landschaftliche Erholungseignung und Ackerbaueignung abgeleitet werden

3.4.2 Theoretische und methodische Grundlagen

Bei den hier zu bewertenden Bezugseinheiten handelt es sich um Landschaftsausschnitte der chorischen Dimension, die hinsichtlich Flächennutzungsstruktur und naturräumlicher Ausstattung mehr oder weniger heterogen sind. Da die eingangs diskutierten Bewertungsverfahren jedoch nur auf homogene Areale anwendbar sind, wird von SYRBE (1995, 1996a) zur Bewertung ein Datenmodell eingeführt, das es erlaubt, mögliche Schwankungsbreiten zu berücksichtigen und auch bei unsicherer und unvollständiger Datengrundlage Aussagen treffen zu können - das Modell der unscharfen Mengen (Fuzzy-Sets).

Definition: Eine scharfe („normale") Menge läßt sich beschreiben durch ihre charakteristische Funktion: f(x)=1, wenn x Element der Menge M ist, und F(x)=0, wenn x nicht Element von M ist. Eine unscharfe Menge läßt sich ebenfalls durch eine charakteristische Funktion darstellen mit der Verallgemeinerung, daß $0 < f(x) <= 1$, wenn x Element von M ist.

Die wesentlichen Schritte der Anwendung dieses Datenmodells sollen im folgenden am Beispiel der Grundwasserschutzfunktion dargestellt werden. Den Rahmen zur Abschätzung des Geschütztheitsgrades des Grundwassers gibt Tabelle 3.4-1 wieder.

Tab. 3.4-1 Bewertung der Grundwasserschutzfunktion (1- sehr gering, 2- gering, 3- mäßig, 4- mittel, 5- hoch) in Abhängigkeit von Grundwasserflurabstand (GWFA) und Bodenart (BA) (sT - sandiger Ton, lT - lehmiger Ton, T - Ton, tL-utL - tonig bis schluffig-toniger Lehm, stL - sandig-toniger Lehm, uT - schluffiger Ton, sL - sandiger Lehm, sU - sandiger Schluff, uL-lU - schluffiger Lehm bis lehmiger Schluff, s'U - schwach sandiger Schluff, SL - stark sandiger Lehm, lS - lehmiger Sand, u'S - schwach schluffiger Sand, uS - schluffiger Sand, S - Sand, G - Grus, K - Kies) (nach MARKS et al. S.78)

Bodenarten / Grundwasser-flurabstand	sT, lT, T	tL-utL, stL uT	sL, sU, uL-lU, s'U	LS, lS, u'S, uS	S, G, K
> 200 cm	5	5	4	3	2
130 -200 cm	4	3	3	2	2
80 - 130 cm	1	2	2	1	1
< 80 cm	1	1	1	1	1

Die Anwendung der Theorie der Fuzzy-Sets beginnt mit der Operationalisierung der Zugehörigkeitsfunktion (Fuzzifizierung der Eingangsdaten). Nach MAYER et al. (1993) existiert bis heute kein universeller axiomatischer Ansatz zur Bestimmung einer expliziten Zugehörigkeitsfunktion. Hinsichtlich der hier zu bearbeitenden Daten, die sich auf die Fläche einer Landschaftseinheit beziehen, wird die Zugehörigkeitsfunktion aus dem prozentualen Flächenanteil der betreffenden Eingangsparameter (Klassen ökologisch ähnlicher Bodenarten, Grundwasserflurabstandsklassen, Flächennutzungsformen). Diese pragmatische Vorgehensweise erscheint sinnvoll, da die Zugehörigkeitsgrade ohnehin nicht eindeutig definiert sind. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis zum Grundwasserflurabstand (Klassengrenzen 1m und 2m) war es erforderlich, zuvor die Klassengrenzen des Bewertungsverfahrens formal an die der Datenbasis anzupassen wie in Tabelle 3.4-2 dargestellt. Für ausgewählte Landschaftseinheiten im Untersuchungsgebiet ergibt sich eine Darstellung gemäß Tabelle 3.4-3 und 3.4-4.

Tab.3.4-2 Anpassung von Bewertungsverfahren (nach Tab. 3.4-1) und Eingangsdaten (zur Erklärung der benutzten Abkürzungen siehe Tab. 3.4-1)

GWFA	BA 1	BA 2	BA 3	BA 4	BA 5
> 200cm (GWFA1)	5	5	4	3	2
100-200 cm (GWFA 2)	4	3	3	2	2
< 100 cm (GWFA 3)	1	1	1	1	1

Tab. 3.4-3 Möglichkeitswerte der Bodenarten für ausgewählte Landschaftseinheiten (zur Erklärung der benutzten Abkürzungen siehe Tab. 3.4-1)

		BA 1	BA 2	BA 3	BA 4	BA 5
2806	Zentrale Dübener Heide	0	0	0	0.9	0.1
2813	Dahlener Heide	0	0	0.1	0.7	0.2
2904	Dessau-Magdeburger Elbtal	0.3	0.1	0	0.4	0.3
3105	Köthener Ackerland	0.5	0	0.3	0.2	0

Tab. 3.4-4 Möglichkeitswerte der Grundwasserabstände für ausgewählte Landschaftseinheiten

		GWFA 1 > 2m	GWFA 2 1-2m	GWFA 3 < 1m
2806	Zentrale Dübener Heide	0.9	0.1	0
2813	Dahlener Heide	0.7	0.2	0.1
2904	Dessau-Magdeburger Elbtal	0	0.4	0.6
3105	Köthener Ackerland	0.8	0.1	0.1

Prinzipiell erfolgt die Erweiterung der zweiwertigen Logik der klassischen Mengenoperationen zur mehrwertigen Logik der Fuzzy-Sets durch die Auffassung der logischen Konnektoren „und" „oder" „nicht" als Funktionen (nach MAYER et al. 1993): $\wedge, \vee$: $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ bzw. $\neg : [0,1] \rightarrow [0,1]$. Als Operatoren für Durchschnitt und Vereinigung unscharfer Mengen wurden t-Normen und t-Conormen (oder s-Normen) eingeführt. Eine Sonderstellung nehmen die dazwischen liegenden sogenannten Durchschnittsoperatoren ein. Danach wird durch eine t-Norm eine Klasse von Operatoren für die Durchschnittsbildung mit $t(0,0) = 0$; $t(x,1) = t(1,x) = x$ sowie den Eigenschaften der Monotonie, Symmetrie und Assoziativität bestimmt. Für s-Normen gelten die zuletzt genannten Eigenschaften analog sowie $s(1,1) = 1$; $s(x,0) = s(0,x) = x$. Für Operationen mit unscharfen Mengen steht eine Vielzahl von Operatoren zur Verfügung, deren Anwendbarkeit neben anderen Faktoren grundsätzlich vom Skalenniveau der Zugehörigkeitsfunktion (nominal, ordinal, intervall- oder verhältnisskaliert) abhängt. Dabei kann die Ableitung neuer Aussagen aus teilweise unscharfen Daten die Kopplung verschiedenartiger Operatoren erfordern.

3.4.3 Bewertungsbeispiel und kartographische Umsetzung

Zur Bewertung der Grundwasserschutzfunktion muß demnach eine t-Norm zur Anwendung kommen, da gemäß Tabelle 3.4-1 eine entsprechende Wertstufe nur dann erreicht wird, wenn sowohl das Kriterium der Klasse der Bodenarten als auch das der Grundwasserflurabstandsklasse erfüllt wird. Das zustandekommende Schätzergebnis ist somit kleiner oder gleich dem Minimum der beiden eingehenden Zugehörigkeitswerte. Die Anwendung des hier gewählten optimistischen Minimumoperators mit anschließender Mittelwertbildung (MW, Rundung auf eine Dezimalstelle) auf die o.a. Beispiele der Landschaftseinheiten ist in Tabelle 3.4-5 dargestellt. Der Zugehörigkeitsgrad zu jeder der fünf Bewertungsstufen des Grundwasserschutzes (GWS 1-5) basiert demgemäß auf folgenden Regeln, die innerhalb eines GIS programmierbar sind:

GWS 1 = MW[MIN(GWFA 3;BA 1); MIN(GWFA 3;BA 2); MIN(GWFA 3;BA 3);
MIN (GWFA 3;BA 4); MIN(GWFA 3;BA 5)]
GWS 2 = MW[MIN(GWFA 1;BA 5); MIN(GWFA 2; BA 4); MIN(GWFA 2;BA 5)]
GWS 3 = MW[MIN(GWFA 1;BA 4); MIN(GWFA 2; BA 2); MIN(GWFA 2, BA 3)]
GWS 4 = MW[MIN(GWFA 1;BA 3); MIN(GWFA 2; BA 1)]
GWS 5 = MW[MIN(GWFA 1;BA 1); MIN(GWFA 1; BA 2)]

Die unterschiedliche Anzahl der in die Mittelwertbildung eingehenden Parameter für die fünf Bewertungsstufen des Grundwasserschutzes ist dabei im Bewertungsverfahren selbst begründet (vgl. Tabelle 3.4-2). So wird der höchste Grad der Geschütztheit (GWS 5) nur bei gleichzeitigem Auftreten von hohen Grundwasserflurabständen (GWFA 1) und bindigen Substraten (BA1, BA2) erreicht. Im Gegensatz dazu weisen alle Bezugsräume mit oberflächennahem Grundwasser (GWFA 3) unabhängig vom Substrat (BA1, ... BA5) ein hohes Gefährdungspotential oder anders ausgedrückt, einen geringen Geschützheitsgrad (GWS 1) auf.

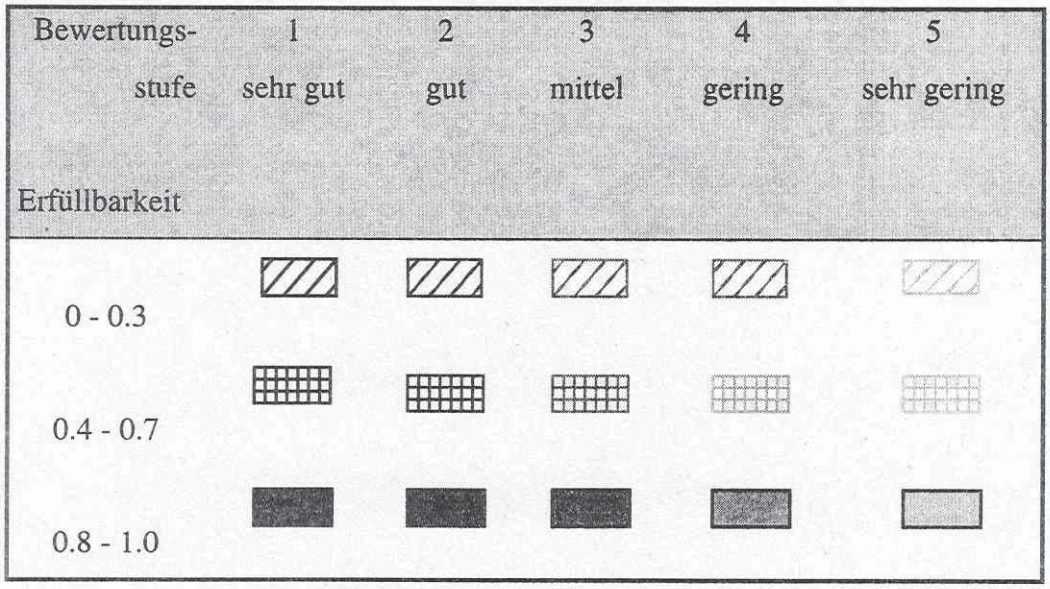
Anhand der Landschaftseinheit 2904 "Dessau-Magdeburger-Elbtal" sollen die in Tabelle 3.4-5 dargestellten Bewertungsergebnisse exemplarisch nachvollziehbar erläutert werden. Für die genannte Landschaftseinheit liefert die Anwendung des Bewertungsverfahrens die folgenden Resultate:

GWS 1 = MW[MIN(0.6;0.3); MIN(0.6;0.1); MIN(0.6;0); MIN (0.6;0.4); MIN(0.6;0.3)]
= MW [0.3, 0.1, 0, 0.4, 0.3] = 0.2
GWS 2 = MW[MIN(0;0.3); MIN(0.4; 0.4); MIN(0.4;0.3)]
= MW [0, 0.4, 0.3] = 0.2
GWS 3 = MW[MIN(0;0.4); MIN(0.4; 0.1); MIN(0.4, 0)]
= MW [0, 0.1, 0] = 0
GWS 4 = MW[MIN(0;0); MIN(0.4; 0.3)]
= MW [0, 0.3] = 0.1
GWS 5 = MW[MIN(0; 0.3); MIN(0; 0.1)]
= MW [0, 0] = 0

Tab. 3.4-5 Bewertung der Grundwasserschutzfunktion mit dem Minimumoperator

		GWS 1	GWS 2	GWS 3	GWS 4	GWS 5
2806	Zentrale Dübener Heide	0	0.1	0.3	0	0
2813	Dahlener Heide	0.1	0.2	0.3	0	0
2904	Dessau-Magdeburger Elbtal	0.2	0.2	0	0.1	0
3105	Köthener Ackerland	0.1	0	0.1	0.2	0.2

Die kartographische Umsetzung der Bewertungsergebnisse kann beispielsweise so realisiert werden, daß die Zugehörigkeit zu einer der fünf Bewertungsstufen selbst über die Farbe oder Grauwertabstufungen realisiert wird, der Grad der Zugehörigkeit über die Signaturendichte. Durch eine vorhergehende sinnvolle Grupppierung der auftretenden Möglichkeitswerte in drei Intervalle wird bei der kartographischen Überlagerung von vornherein deutlich, daß es Flächen gibt, die durch eher sichere Aussagen belegt werden können und andere, in denen dominierende und begleitende Bewertungsstufen vorhanden sind.



3.4.4 Schlußfolgerungen

Eine Lokalisierung der verschiedenen Ergebnisse innerhalb einer Bewertungseinheit ist jedoch auf diesem Wege nicht möglich. Der Bearbeiter kann dem Anwender jedoch somit vermitteln, für welche Areale eher einheitliche Maßnahmen getroffen werden können und welche stärker differenziert betrachtet und behandelt werden müssen. Für diese differenzierte Betrachtung sind dann entweder detailliertere Untersuchungen auf dem nächst niedrigen Niveau der Betrachtung erforderlich oder man wählt den Weg der Typisierung der zu bewertenden

Landschaftseinheiten, der es erlaubt, über bekannte korrelative Zusammenhänge wie beispielsweise entlang von Catenen solche differenzierenden Aussagen zu treffen.

Durch den abschließenden Schritt der Defuzzifizierung ist darüber hinaus eine leichtere Handhabbarkeit der Bewertungsergebnisse möglich. In der Regel ist es möglich, den Output-Fuzzy-Set verbal zu charakterisieren oder in eine (in der Regel) reelle Zahl zu überführen. Dabei geht jedoch zwangsläufig ein Teil der Information verloren. Für die Transformation einer unscharfen Menge in eine scharfe Ergebnisgröße haben sich die Flächenschwerpunkts- sowie die Maximum-Methode etabliert.

Die auf diesem Wege ermittelten Bewertungsergebnisse kommen der real vorhandenen Heterogenität in den Landschaftseinheiten dieser Größenordnung bedeutend näher als eine „klassische" Bewertung über Mittelwertbildung. Aus diesem Grunde scheint der Weg der Anwendung von Fuzzy-Sets bei derartigen Problemlösungen sehr erfolgversprechend zumal derzeit in der landschaftsökologischen Forschung eine verstärkte Orientierung auf Problemlösungen für das prozeßbezogene Forschen in der chorischen Dimension zu beobachten ist. Damit kann zugleich der praxisrelevanten Forderung nach Betrachtung von Räumen in planungsrelevanten Größenordnungen nachgekommen werden.

UFZ-Bericht Nr. 6/1998

Landschaftsbewertung unter Verwendung analytischer Verfahren und Fuzzy-Logic

Ergebnisse des Workshops

"Einsatzmöglichkeiten von Fuzzy Sets in der Landschaftsbewertung"

vom 26. bis 28. Februar 1997
am UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Ralf Grabaum[1] und Uta Steinhardt[2] (Hrsg.)

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
[1] Projektbereich Naturnahe Landschaften
und Ländliche Räume
[2] Sektion Angewandte Landschaftsökologie