UFZ-Diskussionspapiere

Sektion
Ökosystemanalyse (ÖSA)

9/2000

Die Bewertung von Biodiversitätsschutzmaßnahmen mit Hilfe multikriterieller Analyse

Martin Drechsler

Zeitschriftenlesesaal
Reportsammlung

September 2000

Martin Drechler
UFZ–Umweltforschungszentrum Leipzig–Halle
Sektion Ökosystemanalyse (ÖSA)
Postfach 2
D–04301 Leipzig

e-mail: martind@oesa.ufz.de

Zusammenfassung

Entscheidungsfindungsprozesse im Biodiversitätsschutz sind gekennzeichnet von Zielkonflikten und Unsicherheit. Konflikte können zwischen ökologischen und sozioökonomischen Zielen, aber auch zwischen unterschiedlichen ökologischen Zielstellungen bestehen. Unsicherheit tritt vor allem in den Prognosen zu den Wirkungen von Maßnahmen oder Eingriffen auf Ökosysteme auf, aber auch in der Frage, wie stark unterschiedliche Ziele bei Entscheidungen gewichtet werden sollten. Anhand eines einfachen Fallbeispiels wurde gezeigt, daß die Nutzen-Kostenanalyse bei der Bewertung von Biodiversität an ihre Grenzen stößt. Als besser geeignet stellten sich multi-kriterielle Ansätze heraus.

Schlüsselwörter: Biodiversität, multikriterielle Bewertung, Unsicherheit, Zielkonflikte.

1. Einleitung

Trotz gewachsenem Umweltbewußtseins in weiten Teilen der Welt ist das Problem des Artensterbens und des Verlusts an Biodiversität weitgehend ungelöst. Obwohl der Biodiversitätsverlust in Mitteleuropa weniger kritisch einzustufen ist als beispielsweise in den Tropen, ist auch bei uns die Liste der bedrohten Arten beträchtlich. Ursache für den Biodiversitätsverlust ist vor allem die Zerstörung und Fragmentierung von natürlichen Lebensräumen durch Land- und Forstwirtschaft, aber auch durch Zersiedelung und durch Emissionen aus Industrie, privaten Haushalten und Verkehr.

Hinter all diesen Prozessen stehen Interessenkonflikte. Für den größten Teil der Bevölkerung zählt das Ziel „Artenvielfalt" zu einem der wichtigsten Ziele überhaupt – dies gilt meist jedoch nur solange, wie persönliche ökonomische oder andere Interessen nicht berührt werden. Hier wird deutlich, daß Biodiversitätsschutz im wesentlichen etwas mit Zielkonflikten und Zielgewichtungen zu tun hat.

Es besteht jedoch nicht nur ein Konflikt zwischen ökologischen und sozioökonomischen Zielen, sondern auch zwischen verschiedenen ökologischen Zielen. Es gibt keinen einheitlichen Maßstab für das Phänomen Biodiversität. Biodiversität hat sicher etwas mit der Gesamtzahl der Arten („Artenreichtum") und der genetischen Diversität zu tun. Die Berücksichtigung dieser Aspekte reicht aber bei weitem nicht aus. So sind Organismen in einem Ökosystem nicht voneinander unabhängig, d.h. das Überleben einer Art hat einen Einfluß auf das Überleben anderer Arten. Des weiteren hängt das Überleben von Arten natürlich auch von ihrem Habitat, d.h. ihrer Umwelt ab. So besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Diversität von Arten und der Diversität von Landschaften bzw. Habitaten. Wegen der Unterschiedlichkeit der Organismen unterscheiden sich schließlich auch die Ansprüche, die sie an ihr Habitat stellen. Es ist einleuchtend, daß sich diese Aspekte nicht auf einen einzigen Maßstab reduzieren lassen.

In einer solchen Situation kann man nicht erwarten, daß es eine optimale Entscheidung gibt, die jede einzelne Anforderungen oder jedes Ziel vollständig erfüllt. Möglich ist nur ein Kompromiß, der jedem einzelnen der Ziele wenigstens teilweise gerecht wird. Um sicher zu stellen, daß kein Ziel völlig vernachlässigt wird, bietet sich das „Vetoprinzip" an: wirkt sich

eine Entscheidung auf ein bestimmtes Ziel katastrophal aus, so kann dieses ein „Veto“ gegen die Entscheidung einlegen.

Das zweite große Problem, vor dem der Biodiversitätsschutz steht, ist das Fehlen harter Daten. Während ein Brückenbau-Ingenieur ziemlich genau abschätzen kann, was mit welcher Wahrscheinlichkeit passiert, wenn aus Kostengründen ein stabilisierendes Element eingespart wird, ist es für einen Ökologen schwierig oder unmöglich, die Konsequenzen von Eingriffen in die Natur einzuschätzen. Die Ursache ist das begrenzte Wissen über und die Zufälligkeit von ökologischen Prozessen.

Da ganz offensichtlich Entscheidungen zum Biodiversitätsschutz also weder nach eindeutigen Maßstäben noch unter dem Luxus von Sicherheit und vollständiger Information durchgeführt werden können, müssen die vorangehenden Entscheidungsprozesse transparent, d.h. für möglichst viele Menschen nachvollziehbar sein, um Akzeptanz für die zu fällende Entscheidung zu finden. Dazu gehört, daß die Entscheidungskriterien, ihre Gewichtungen, die zur Auswahl stehenden Entscheidungsmöglichkeiten und alle Bewertungen einschließlich der sie begleitenden Unsicherheiten offengelegt werden. In anderen Worten, eine undurchschaubare Aggregation der verfügbaren Informationen in eine einzige Zahl, aus der dann die richtige Entscheidung abgelesen werden kann, ist kontraproduktiv.

Zusammenfassend sollte eine Entscheidungshilfe für Biodiversitätsschutz die folgenden Eigenschaften besitzen bzw. Möglichkeiten anbieten:

- Berücksichtigung von Zielkonflikten
- Unterschiedliche Zielgewichtungen
- Unterstützung bei der Suche nach Kompromissen
- Vetoprinzip
- Berücksichtigung von Datenunsicherheit
- Transparenz

Die Hypothese, der ich in diesem Artikel nachgehen möchte, ist, daß multikriterielle Ansätze (siehe z.B. Zimmermann und Gutsche (1991)) diese Anforderungen recht gut erfüllen und vermutlich sogar unverzichtbar sind bei Entscheidungen, die Einfluß auf Biodiversität haben. Dazu wird im folgenden Abschnitt ein kurzer Überblick und eine Klassifizierung einiger wichtiger multikriterieller Analysemethoden geliefert. Der darauf folgenden Abschnitt

konzentriert sich auf verschiedene Formen von Unsicherheit und die Vorstellung eines neuen multikriteriellen Entscheidungsverfahrens, das anschließend an einem einfachen Beispiel demonstriert wird. Zum Schluß des Artikels wird diskutiert, inwieweit die multikriterielle Analyse und andere Ansätze wie etwa die Nutzen-Kosten-Analyse geeignete Verfahren für die Bewertung von Biodiversität darstellen.

2. Überblick über einige der wichtigsten Verfahren zur multikriteriellen Analyse

Zunächst kann man die Vielzahl der Methoden danach unterscheiden, ob der Entscheidungsraum, d.h. die Menge der zur Auswahl stehenden Entscheidungsalternativen, stetig oder diskret ist. Multikriterielle Entscheidungsverfahren mit stetigem Entscheidungsraum, bei denen die Entscheidung durch kontinuierlich variierbare Parameter (wie z.B. den Anteil von Produkt x an der Gesamtproduktion eines Unternehmens) definiert ist, werden als MODM (multi objective decision methods) bezeichnet (z.B. Zimmermann und Gutsche (1991)). Im Bereich des Natur- und Artenschutzes sind Entscheidungsprobleme dagegen häufig durch eine relativ kleine Zahl von Alternativen gekennzeichnet, von denen die „beste" auszuwählen ist. Die hier anwendbaren Entscheidungsverfahren werden als MADM (multi attribute decision methods) bezeichnet. Da Entscheidungsprobleme im Biodiversitätsschutz häufig diskreter Natur (etwa „Bau einer Straße über Punkt A oder über Punkt B oder gar nicht") ist, werden im folgenden ausschließlich auf MADM betrachtet. Die bekanntesten MADM-Verfahren sind das Verfahren der lexikographischen Ordnung (VLO) (z.B. Laux (1998)), die „multi attribute utility theory" (MAUT), der „analytical hierarchy process" (AHP) und Outranking-Verfahren wie PROMETHEE und ELECTRE (z.B. Zimmermann und Gutsche (1991) oder Stewart (1992)).

2.1. Multi-attribute utility theory (MAUT) und analytical hierarchy process (AHP)

Da es strukturelle Verwandtschaften zwischen MAUT und AHP gibt, wird der Einfachheit halber nur MAUT (z.B. Stewart (1992)) betrachtet. Hinter diesem Verfahren steht die Annahme, daß jedes Individuum in der Lage ist, (s)einen Zustand mit Hilfe einer einzigen Variablen, des „Nutzens" zu bewerten. Dieser setzt sich zusammen aus einer Vielzahl von „Partialnutzen". Sind die Partialnutzen voneinander unabhängig, so kann man zeigen, daß der Gesamtnutzen U_{tot} die gewichtete Summe der Partialnutzen U_i (i=1...n) ist.

$$U_{tot} = w_1U_1 + w_2U_2 + ... + w_nU_n \qquad (1)$$

wobei die Gewichtsfaktoren w_i die Bedeutung von Preisen bzw. trade-offs haben. Das Verhältnis w_i/w_j $(i \neq j)$ gibt an, um welchen Betrag $\Delta U_j > 0$ der Partialnutzen U_j erhöht werden müßte, um einen Verlust in U_i von $\Delta U_i < 0$ auszugleichen, so daß U_{tot} konstant bleibt: $\Delta U_j = -(w_i/w_j)\Delta U_i$. Um mit Hilfe von MAUT eine Entscheidung zu „ermitteln", wird für jede Alternative der jeweilige Gesamtnutzen nach Gleichung (1) ermittelt. Die Alternative mit dem höchsten Gesamtnutzen ist die beste.

2.2 Das Verfahren der lexikographischen Ordnung (VLO)

Bei dem Verfahren der lexikographischen Ordnung (z.B. Laux (1998)) geht es darum, aus der Zahl der Alternativen nach und nach unerwünschte Alternativen auszusondern, bis nur noch eine übrigbleibt. Zu diesem Zweck werden alle Ziele qualitativ nach ihrer Wichtigkeit angeordnet. Dann betrachtet man das erste Ziel und sondert diejenige Alternative aus, die in diesem Ziel am schlechtesten abschneidet. Die übrigen Alternativen betrachtet man nun bezüglich des nächst wichtigen Ziels, und so fort, bis alle Alternativen bis auf eine ausgesondert sind. Die Alternative, die übrig bleibt, wird als beste bezeichnet (falls es mehr Alternativen als Ziele gibt, kann man pro Ziel mehrere Alternativen aussondern oder mehrere Lösungen zulassen).

2.3 Vergleich MAUT und VLO

Zwischen den beiden Verfahren, MAUT und VLO, bestehen gravierende Unterschiede. Hinter dem MAUT-Verfahren steht die Idee, etwas zu maximieren – nämlich den Gesamtnutzen. Die Alternative mit *maximalem Gesamtnutzen* gewinnt. Im VLO dagegen wird versucht, etwas zu minimieren – nämlich extrem ungünstige Ergebnisse in einzelnen Zielen: solche Alternativen, die in irgendwelchen Zielen besonders schlecht bzw. am schlechtesten abschneiden, werden ausgesondert. Es bleibt also nicht notwendigerweise die Alternative übrig, die zu maximalem Nutzen führt übrig, sondern diejenige, die „*Extrem-Enttäuschungen*" in den einzelnen Kriterien vermeidet. Letzteres ist eng verwandt mit dem oben erwähnten Prinzip des Vetorechts.

Der zweite wichtige Unterschied zwischen beiden Verfahren ist, daß das MAUT-Verfahren die (unterschiedliche) Gewichtung von Zielen ermöglicht, während das VLO nur eine qualitative Rangordnung vorsieht. Das MAUT-Verfahren erlaubt daher eine zumindest technisch einfache Variation der Zielpräferenzen durch Gewichtsveränderungen. Dies ermöglicht, die Wirkungen von unterschiedlichen Zielpräferenzen auf die Entscheidung zu untersuchen und Kompromisse zwischen widersprechenden Zielen zu finden. Daneben ermöglicht das MAUT-Verfahren Kompensation oder „Tauschgeschäfte", d.h. ein schlechtes Ergebnis in einem Kriterium kann durch ein gutes Ergebnis in einem anderen Kriterium ausgeglichen werden.

Im VLO dagegen ist eine graduelle Veränderung von Zielgewichtungen nicht möglich. Bestenfalls kann man die Rangordnung der Kriterien durch Austauschen verändern. Eine Kompensation ist ebenfalls nicht möglich. Ist eine Alternative erst einmal ausgeschieden, so kann sie (abgesehen von gewissen Varianten des Verfahrens) nicht mehr gewählt werden, auch wenn sie in allen anderen Kriterien noch so gut abschneiden sollte. Das Endergebnis des Verfahrens der lexikographischen Ordnung hängt daher mit großer Wahrscheinlichkeit von der Reihenfolge, d.h. Rangordnung der Ziele, ab. Je stärker ein Entscheidungsverfahren von seiner Struktur abhängt und je weniger Kompensation es zuläßt, desto schwieriger wird im allgemeinen eine Kompromißfindung sein. Zur Ermittlung von möglichen Kompromissen scheint das MAUT-Verfahren daher besser geeignet zu sein als das VLO. Zusammenfassend gilt für die beiden Verfahren bezüglich der in der Einleitung genannten Anforderungen:

- Berücksichtigung von Zielkonflikten: MAUT ja; VLO ja
- Unterschiedliche Zielgewichtungen: MAUT ja; VLO eingeschränkt
- Unterstützung bei der Suche nach Kompromissen: MAUT ja; VLO schwierig
- Vetoprinzip: MAUT nein; VLO ja
- Ob die beiden übrigen Anforderungen erfüllt sind, hängt von der konkreten Ausgestaltung der Verfahren ab (s.u.).

2.4 Das PROMETHEE-Verfahren

Wünschenswert ist ein Verfahren, das sowohl geeignet ist, Kompromisse zu identifizieren als auch das Vetoprinzip zu beachten – sozusagen einen Kompromiß zwischen MAUT und VLO. Dies können die sogenannten Outranking-Verfahren leisten, von denen das strukturell

einfachste, das PROMETHEE-Verfahren, näher erläutert werden soll. Ausgangspunkt des PROMETHEE-Verfahrens ist eine Multikriterien-Matrix wie in Tab. 1 gezeigt.

Tabelle 1: Multikriterienmatrix: Die Elemente geben für jedes Kriterium und jede Alternative das erwartete Ergebnis an.

	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3
Alternative 1	11.2	5.7	11.2
Alternative 2	9.2	5.9	10.4
Alternative 3	6.8	5.7	8.2
Alternative 4	5.5	5.4	6.2

Sie gibt die Ergebnisse an, die die verschiedenen Alternativen in den verschiedenen Zielen, die hier als Kriterien bezeichnet werden, erzielen. Charakteristisch für Outranking-Verfahren wie PROMETHEE ist der paarweise Vergleich zwischen Alternativen, mit dem das Verfahren beginnt. Dazu betrachtet man das erste Kriterium und vergleicht nun jede Alternative mit jeder bezüglich dieses Kriteriums. Die Alternative mit dem besseren Ergebnis erhält einen Punkt, die mit dem schlechteren keinen. Bei Gleichstand wird kein Punkt verteilt. Andere Möglichkeiten der Punkteverteilung sind möglich (s.u., oder Zimmermann und Gutsche (1991)). Die Zahl der Punkte, die eine Alternative A_1 im Vergleich zu einer Alternative A_2 in einem Kriterium i erhält, wird durch die sogenannte Präferenzfunktion $\Pi_i(A_1, A_2)$ ausgedrückt. Diese Werte werden für jedes Kriterium und jedes Alternativenpaar ermittelt. Anschließend werden die Ergebnisse über die Kriterien summiert, um für jedes Alternativenpaar festzustellen, welche Alternative insgesamt besser ist:

$$\Pi(A_1, A_2) = \sum w_i \, \Pi_i(A_1, A_2) \qquad (2)$$

Die Kriteriengewichte w_i (vgl. Gleichung 1) sorgen dafür, daß die Π-Werte, die in wichtigen Kriterien mit großen w_i erzielt wurden, stärker berücksichtigt werden als solche in unwichtigen Kriterien. Die Größe $\Pi(A_1, A_2)$ gibt nun an, wie stark Alternative A_1 die Alternative A_2 dominiert. Das Ergebnis für das in Tab. 1 abgebildete Entscheidungsproblem bei Gleichgewichtung aller Kriterien (w_i=1/3) zeigt Tab. 2.

Tabelle 2: Paarweise Präferenzen von vier Alternativen

	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4	$F^+(A_i)$
Alternative 1	0.00	0.67	0.67	0.67	2.00
Alternative 2	0.33	0.00	0.67	0.88	1.88
Alternative 3	0.33	0.22	0.00	1.00	1.55
Alternative 4	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33
$F^-(A_i)$	1.00	0.89	1.33	2.55	

Die Werte in der ersten Zeile, also $\Pi(A_1,A_1)$, ... $\Pi(A_1,A_4)$, geben an, wie stark Alternative 1 jede einzelne der anderen Alternativen dominiert. Die Summe $F^+(A_1)$ über die Elemente der ersten Zeile geben an, wie gut Alternative 1 insgesamt oder im Durchschnitt die anderen Alternativen dominiert. Die Elemente der ersten Spalte, also $\Pi(A_1,A_1)$, ... $\Pi(A_4,A_1)$, dagegen geben an, wie stark Alternative 1 von jeder einzelnen der anderen Alternativen dominiert wird. Die Summe $F(A_1)$ der Elemente der ersten Spalte gibt an, wie stark Alternative 1 von den anderen Alternativen insgesamt oder im Durchschnitt dominiert wird.

Man kann die Alternativen nun in zwei Rangfolgen anordnen. Zum einen kann man den Rang einer Alternative danach festlegen, wie stark sie die anderen Alternative dominiert. Das heißt, die Alternative mit der größten Zeilensumme F^+ ist die beste, gefolgt von derjenigen mit dem zweitgrößten F^+ und so fort. Alternativ könnte man eine Alternativen danach einstufen, wie stark sie von anderen Alternativen dominiert wird. Das heißt, die Alternative mit der größten Spaltensumme F^- ist die schlechteste, gefolgt von derjenigen mit dem zweitgrößten F^-, und so fort. Die erste Rangfolge sagt etwas darüber aus, welche Alternative die meisten guten Ergebnisse („dominiert häufig andere Alternativen") liefert (vgl. Optimierung des Gesamtnutzens im MAUT-Verfahren), während die zweite Rangfolge etwas darüber aussagt, welche Alternative am wenigsten schlechte Ergebnisse („wird von anderen Alternativen selten dominiert") erzielt (vgl. Minimierung der „Extrem-Enttäuschung" im Verfahren der lexikographischen Ordnung). Wie man in Tab. 2 sieht, können sich die beiden Rangfolgen voneinander unterscheiden.

Wenn man nun beiden Aspekten, der Maximierung des Gesamtnutzens und der Minimierung von Enttäuschung bei einzelnen Kriterien Rechnung tragen will, müssen die beiden Rangordnungen geeignet kombiniert werden, so daß beide voll zur Geltung kommen. Im

PROMETHEE-Verfahren wird dies folgendermaßen gelöst: Eine Alternative ist dann besser als eine andere, wenn sie das größere F^+ (dominiert stärker) aber gleichzeitig nicht das größere F^- (wird nicht stärker dominiert) aufweist. Eine Alternative ist auch dann besser als eine andere, wenn sie das kleinere F^- (wird weniger stark dominiert) aber gleichzeitig nicht das kleinere F^+ (dominiert nicht weniger stark) aufweist. Die Werte F^+ und F^- können aber auch entgegengesetzte Signale liefern: Hat eine Alternative sowohl das größere F^+ als auch das größere F^- als eine andere, so dominiert sie einerseits stärker als die andere, sie wird aber auch stärker dominiert. Das Urteil muß hier lauten, daß nicht entschieden kann, welche von beiden Alternativen die bessere ist, sie sind also nicht miteinander vergleichbar. Unvergleichbarkeit ist ein typisches Phänomen bei Outranking-Methoden und spiegelt die Widersprüchlichkeit, Komplexität und Multidimensionalität eines realistischen Entscheidungsproblems wider.

Das Ergebnis der Analyse für das Beispiel aus Tab. 2 zeigt Abb. 1. Das Ergebnis ist eine sogenannte unvollständige Rangordnung der Alternativen. Die Alternativen 1 und 2 sind in Abb. 1 die besten, und Alternative 4 ist die schlechteste. Die Alternativen 1 und 2 sind nicht miteinander vergleichbar, was offensichtlich von einen unüberbrückbaren – d.h. unentscheidbaren – Zielkonflikt herrührt.

2.5 Multikriterielle Analyse bei Unsicherheit

Zwei Arten von Unsicherheit sollen im folgenden betrachtet werden: Unsicherheit in den Eingangsdaten der Multikriterien-Matrix (Tab. 1) und Unsicherheit in den Kriteriengewichtungen w_i (Gleichung 2). Unsicherheit in den Eingangsdaten könnte sich so auswirken, daß es sich bei den Werten von Tab. 1 nur um wahrscheinlichste Werte handelt, daß die wahren Werte aber davon abweichen können. Die Abweichungen in dem Ergebnis einer Alternative A_1 in einem Kriterium C könnte man beispielsweise durch eine dreiecksförmige Wahrscheinlichkeits- oder „Likelihood-" Verteilung darstellen wie in Abb. 2 (durchgezogene Linie) gezeigt. Am wahrscheinlichsten sind in Abb. 2 (durchgezogene Linie) Werte um $\hat{a}_1$. Werte, die größer oder kleiner als $\hat{a}_1$ sind, sind zunehmend unwahrscheinlicher; die Wahrscheinlichkeit, einen Wert $a_1<a_{1,min}$ oder $a_1>a_{1,max}$ zu beobachten, ist null. Ähnliches mag für eine andere Alternative A_2 gelten (Abb. 2, gestrichelte Linie).

Da die beiden Verteilungen in Abb. 2 teilweise überlappen, kann die Frage, ob $a_1 > a_2$ oder umgekehrt, jetzt nicht sicher beantwortet, sondern kann nur über eine Wahrscheinlichkeit ausgedrückt werden. Ganz offensichtlich ist die Wahrscheinlichkeit, $a_1 > a_2$ zu beobachten, um so größer, je weiter die beiden Verteilungen auseinander liegen, also je größer der Abstand zwischen den wahrscheinlichsten Werten $\hat{a}_2 - \hat{a}_1$ ist, relativ zu dem Maß an Unsicherheit. Die Unsicherheit wird dabei ausgedrückt durch die Unterkanten der beiden Dreiecke in Abb. 2, $a_{1,max} - a_{1,min}$ und $a_{2,max} - a_{2,min}$.

Es ist nun sinnvoll zu sagen, daß je größer die Wahrscheinlichkeit für $a_1 > a_2$, desto größer die Wahrscheinlichkeit, daß Alternative A_1 in dem betrachteten Kriterium besser ist als Alternative A_2, und desto mehr Präferenzpunkte $\Pi(A_1, A_2)$ sollte A_1 über A_2 erhalten (für den genauen Zusammenhang siehe Drechsler (1999)). Je weiter die beiden Kurven also auseinander liegen, bzw. je geringer die Unsicherheit, desto sicherer kann eindeutig entschieden werden, welche Alternative die bessere ist, und desto mehr Präferenzpunkte werden verteilt. Wegen der Abhängigkeit dieser Präferenzform von Unsicherheit wird sie im folgenden als „stochastische Präferenz" bezeichnet.

Neben der Unsicherheit in den Eingangsdaten herrscht im allgemeinen auch Unsicherheit bzw. Unstimmigkeit über die Wahl der Kriteriengewichte w_i. Um zu einer vernünftigen Wahl zu kommen, ist es sinnvoll, zu untersuchen, wie sich unterschiedliche Gewichtungen auf das Ergebnis der Multikriterienanalyse auswirken. Dazu wurde das oben beschriebene PROMETHEE-Verfahren mit stochastischer Präferenz als Computerprogramm implementiert (in Kürze über das Umweltforschungszentrum erhältlich), welches eine ausführliche Sensitivitätsanalyse zu den Gewichtsfaktoren ermöglicht. Die Behandlung der beiden Arten von Unsicherheit wird im folgenden Abschnitt anhand eines Beispiels demonstriert.

3. Beispiel

3.1 Das Entscheidungsproblem mit Datenunsicherheit

Ausgangspunkt der Betrachtungen sei ein Habitat, das drei als bedeutsam eingestuften Arten Lebensraum gibt. Die Arten mögen sich bezüglich der zeitlichen Variabilität (z.B. Witterungsabhängigkeit) ihrer Populationswachstumsraten und bezüglich ihrer Wanderungsfähigkeit (Mobilität) voneinander unterscheiden. Die Überlebensfähigkeiten

dieser drei Arten (also die Werte der drei Entscheidungskriterien) sollen durch Habitatvergrößerung erhöht werden. Um dies zu erreichen, soll das Habitat insgesamt um einen Faktor 4 vergrößert werden. Dazu mögen vier verschiedene Wegen möglich sein: Man kann

1. die Fläche des bestehenden Habitats um den Faktor 4 vergrößern
2. die Fläche des bestehenden Habitats verdoppeln und in der Nachbarschaft ein weiteres Habitat derselben Größe errichten
3. die Fläche des bestehenden Habitats um den Faktor 4/3 erhöhen und in der Nachbarschaft zwei Habitate derselben Größe errichten
4. die Fläche des bestehenden Habitats beibehalten und in der Nachbarschaft drei weitere Habitate derselben Größe errichten.

Die Wirkungen der vier Maßnahmen bzw. Alternativen werden nun für die verschiedenen Arten unterschiedlich sein. Arten, denen es nicht möglich ist, zwischen verschiedenen Habitaten zu wandern (z.B. Schnecken und Laufkäfer), sollten besonders von Alternative 1 profitieren, während andere Arten, die sehr mobil und starken Schwankungen unterworfen sind (z.B. manche Schmetterlings- und Heuschreckenarten), besonders von Alternative 4 profitieren sollten. Es besteht also ein *Zielkonflikt* zwischen den Arten. Um die Wirkungen der Alternativen konkret und quantitativ abschätzen zu können, wurden die Alternativen mit Hilfe eines ökologischen Modells simuliert (s. Drechsler (1998)). Das Ergebnis für die Alternativen 1 bis 4 zeigt Tab. 1, wobei jedes der drei Kriterien gerade den Logarithmus der Lebensdauer einer der drei Arten angibt. Dieser ist ein Maß für die Überlebensfähigkeit der zugehörigen Art und soll möglichst maximiert werden.

Es wird nun ferner angenommen, daß eine gewisse Unsicherheit über den Grad der zeitlichen Variabilität in den Wachstumsraten der vier Arten vorliegt. Dies führt zu Unsicherheiten in den prognostizierten Lebensdauern, die daher von den in Tab. 1 angegebenen Werten abweichen. Die Bandbreiten der Unsicherheiten, wie sie sich aus dem ökologischen Modell ergeben, zeigt Tab. 3.

Tabelle 3: Unsicherheitsintervalle der logarithmierten Lebensdauern (vgl. Tab. 1). Die Obergrenze eines Intervalls wurde jeweils für geringe Variabilität in den Wachstumsraten erzielt. Die Untergrenze basiert auf einer hohen Variabilität.

	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium 4
Alternative 1	[7.0, 18.4]	[3.9, 8.9]	[7.0, 18.4]	[3.9, 8.9]
Alternative 2	[5.7, 15.2]	[4.0, 11.1]	[6.3, 16.7]	[4.2, 12.7]
Alternative 3	[4.9, 10.8]	[3.9, 11.8]	[5.2, 13.3]	[4.1, 14.3]
Alternative 4	[4.4, 7.2]	[3.9, 11.6]	[4.6, 9.4]	[4.1, 15.1]

Jedes Element der Tabelle enthält einen Maximal- und einen Minimalwert.Die wahre Lebensdauer liegt nun irgendwo zwischen diesen beiden Werten, gemäß einer Wahrscheinlichkeitsverteilung wie in Abb. 2, wobei der wahrscheinlichste Wert durch Tab. 1 gegeben ist. Wie man sieht liegt dieser jeweils ziemlich genau zwischen dem zugehörigen Maximal- und dem Minimalwert aus Tab. 2.

3.2 Normative Unsicherheit

Neben der Datenunsicherheit stellt sich die Frage, wie stark jede einzelne der Arten im Entscheidungsprozeß berücksichtigt werden sollen. Verschiedene Möglichkeiten sind denkbar.

1. Zunächst könnte man alle drei Arten gleichwertig berücksichtigen, also allen drei Kriterien dasselbe Gewicht (von jeweils 1/3) zuordnen.
2. Interessant ist aber auch zu wissen, ob und inwiefern sich die Problemlösung bei anders gewählten Gewichten verändert. Dies wird durch eine Sensitivitätsanalyse ermittelt, bei der die Gewichte innerhalb ihrer Grenzen (ihre Summe muß stets eins ergeben) zufällig und systematisch variiert werden.

3.4 Entscheidungsanalyse und Ergebnisse

1. Mit Hilfe des oben beschriebenen Entscheidungsverfahrens wurde die Multikriterien-Matrix, Tab. 1, mit den Unsicherheiten, Tab. 3, analysiert. Alle drei Arten hatten zunächst dasselbe Gewicht. Es ergibt sich die unvollständige Rangordnung der Abb. 1. Die Alternativen 1 und 2 sind nicht miteinander vergleichbar, aber besser als die Alternativen 3 und 4.

2. Die Lösung des Entscheidungsproblems ändert sich erwartungsgemäß, wenn man die Arten unterschiedlich gewichtet. Bei der systematischen Sensitivitätsanalyse stellt sich heraus, daß das Ergebnis des Entscheidungsproblems im wesentlichen von der Summe der beiden Gewichte zu Art 1 und 3 abhängt. Ist diese größer als etwa 0.5, so ist die Alternative 1 optimal; ist die Summe kleiner als 0.5, so ist Alternative 3 optimal; ist die Summe gleich 0.5, so ist Alternative 2 optimal. Alternative 4 ist nie optimal. Interessant ist, daß zwar die Summe von Gewicht 1 und Gewicht 3 einen Einfluß auf die Entscheidung hat, nicht jedoch der relative Anteil der beiden Gewichte zu dieser Summe.

4. Diskussion

Anhand eines fiktiven Beispiels wurde demonstriert, wie eine multikriterielle Analyse Entscheidungsfindungen im Biodiversitätsschutz unterstützen kann. Die eingangs betrachteten Anforderungen an eine solche entscheidungsunterstützende Analyse sollen nun im Hinblick auf das Fallbeispiels noch einmal diskutiert werden. Zunächst ist es nach der Problemformulierung offensichtlich, daß eine mehrdimensionale Betrachtungsweise, die unterschiedliche Ziele simultan berücksichtigt, unabdingbar ist. Im Fallbeispiel wird dies deutlich, da hier die einzelnen Ziele durch die Überlebensfähigkeit *einzelner* Arten dargestellt werden. Da die Arten im allgemeinen *unterschiedliche Funktionen* im Ökosystem einnehmen, kann man sie nicht auf einem gemeinsamen Maßstab messen: Obwohl alle Ziele dieselbe Einheit (Zeit) tragen, kann man sie nicht einfach addieren, da ein Jahr zusätzliche Lebensdauer bei Art 1 etwas anderes bedeutet als ein Jahr zusätzliche Lebensdauer in Art 2, vor allem wenn die Funktionen der beiden Arten im Ökosystem qualitativ unterschiedlich sind (was im allgemeinen der Fall ist).

Dieser Denkansatz, sich bei der Biodiversitätsbewertung auf wenige Arten zu beschränken, ist in etwa komplementär zu dem Ansatz von Weitzmann (1993), in dem ein objektives Maß für die Biodiversität eines ganzen Ökosystems abgeleitet wird. Das Maß basiert auf genetischen und phänologischen Distanzen und zielt auf eine Maximierung dieser Distanzen. Dabei wird aber völlig vernachlässigt, daß, wie oben geschildert, unterschiedliche Arten unterschiedliche Funktionen und auch Wertigkeiten in Ökosystemen besitzen. Weitzmanns Diversitätsmaß kann daher eine interessante Komponente innerhalb einer umfangreicheren

Biodiversitätsbewertung sein; der Komplexität eines realen Ökosystems wird es aber in keiner Weise gerecht.

Auch der in dieser Arbeit präsentierte Ansatz kann die Komplexität eines Ökosystems nicht völlig abbilden, da eben nur eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Arten berücksichtigt werden kann. Sinnvoll ist dieser Ansatz daher auch nur, wenn es möglich ist, die „wichtigsten" Arten, die also für das Ökosystem charakteristisch und für seinen „Zusammenhalt" unerläßlich sind, zu identifizieren. Verbindend könnte man also sagen, daß der Ansatz von Weitzmann in die Breite, der Ansatz der vorliegenden Arbeit dagegen punktuell in die Tiefe geht. Beide Ansätze sind daher komplementär zu einander.

Dies hat dann auch Konsequenzen für die konkrete Bedeutung beider Ansätze. Der Ansatz von Weitzmann zielt auf die Ermittlung eines eindeutigen Maßes für Biodiversität. Das Fernziel könnte dabei sein, anschließend eine Monetarisierung durchzuführen, um das Phänomen Biodiversität mit Hilfe von Nutzen-Kosten-Analysen erfassen zu können. Dies jedoch ist sehr problematisch, denn selbst wenn man unterstellen würde, daß Weitzmanns Maß das Phänomen Biodiversität vollständig erfassen würde, so wäre, wie Rauschmayer (2000a,b) zeigt, eine Monetarisierung und die Integration von Biodiversität in eine Nutzen-Kosten-Analyse mit vielen konzeptionellen und praktischen Schwierigkeiten verbunden. Dies gilt nun um so mehr, als Biodiversität eben mehr ist als eine eindimensionale Aggregation genetischer Distanzen, sondern ein multidimensionales Phänomen darstellt.

Die Konsequenz ist daher, wie auch von Rauschmayer propagiert, der Einsatz von multikriteriellen Verfahren. In der vorliegenden Arbeit wurden drei Verfahren vorgestellt bzw. skizziert. Das MAUT-Verfahren, welches auf dem stärksten theoretischen Fundament ruht (dies nicht zuletzt, weil es starke Ähnlichkeiten mit der Nutzen-Kosten-Analyse aufweist) erscheint vor dem Hintergrund der Biodiversitätsbewertung problematisch zu sein, da es annimmt, daß es so etwas wie einen eindeutigen Gesamtnutzen aus Biodiversität gibt (was oben schon ausgeschlossen wurde). Hinzu kommt das praktische Problem der Zuweisung von Partialnutzen zu einzelnen Arten (Gleichung 1).

Als zweites Verfahren wurde das Verfahren der lexikographischen Ordnung vorgestellt. Dieses Verfahren verzichtet auf die Annahme der Existenz eines Gesamtnutzens. Daneben stellt es sicher, daß kein Ziel, d.h. keine Art, völlig vernachlässigt wird („Vetoprinzip"). Das

Verfahren ist jedoch, wie oben diskutiert, relativ unflexibel und erleichtert nicht die Kompromißfindung zwischen gegenläufigen Zielen, da es nicht möglich ist, Zielpräferenzen graduell zu variieren, wie es beispielsweise im MAUT-Verfahren möglich ist (s. Gleichung 1). Die Berücksichtigung von Zielpräferenzen und die Untersuchung ihrer Wirkungen auf das Entscheidungsergebnis ist aber wichtig, wenn keine Einigkeit darüber herrscht, wie welche Art gewichtet werden sollte.

Am geeignetsten erscheinen daher die Outranking-Verfahren, von denen hier eines, das PROMETHEE-Verfahren samt einer Erweiterung, näher betrachtet worden ist. Im Gegensatz zum Verfahren der lexikographischen Ordnung unterstützt das vorgestellte Verfahren die Diskussion unterschiedlicher Zielpräferenzen, indem es aufzeigt, welche Präferenzen zu welchem Ergebnis führen, und welche Präferenzänderungen keinen Einfluß auf die Entscheidung haben (etwa die relative Gewichtung von Art 1 und 3 in Ergebnis 2). Im Gegensatz zum MAUT-Verfahren wiederum werden Zielkonflikte nicht verwischt, sondern aufgedeckt. Dies wird deutlich in Abb. 1. Es wird darauf verzichtet, einen eindeutigen Sieger zu festzulegen, wenn dies aufgrund der komplexen und widersprüchlichen Situation (Arten mit divergierenden Ansprüchen) nicht möglich ist. Eine solche Lösung – zwei Sieger – ist in einer eindimensionalen Betrachtungsweise, wie sie dem MAUT-Verfahren und der Nutzen-Kosten-Analyse eigen ist, prinzipiell nicht vorgesehen (es sei denn beide Sieger weisen exakt dieselbe Nutzen-Kosten-Differenz auf). Jene beiden Verfahren werden daher der Komplexität eines Ökosystems nicht gerecht und können bestenfalls Komponenten innerhalb einer multikriteriellen Biodiversitätsbewertung sein.

Die Frage der Unsicherheit, die sich beispielsweise dadurch ergibt, daß exakte Prognosen zur Entwicklung von Ökosystemen nicht möglich sind, verhält sich relativ neutral in der Frage „multikriterielle Analyse oder Nutzen-Kosten-Analyse". Sie stellt ein gravierendes Problem in allen Bewertungsverfahren dar, und für alle Verfahren gibt es Lösungsmöglichkeiten zur Berücksichtigung von Unsicherheit, von denen eine in dieser Arbeit vorgestellt wurde.

Ähnlich neutral verhält sich die Forderung nach Transparenz. Auch wenn nach Rauschmayer (2000a,b) die multikriterielle Analyse für mehr Transparenz sorgt als die Nutzen-Kosten-Analyse, so ist diese Aussage im Hinblick auf das MAUT-Verfahren, das der Nutzen-Kosten-Analyse nahesteht, etwas zweifelhaft. Entscheidend erscheint eher, *wie* ein Verfahren - sei es Nutzen-Kosten-Analyse oder multikriterielle Analyse - durchgeführt wird, also ob alle

Annahmen nachvollziehbar offengelegt werden, oder ob sie versteckt werden und nur das Endergebnis der Analyse präsentiert wird. Für die Outranking-Verfahren spricht dabei, daß sie im Gegensatz zu anderen Verfahren seine Anwender zur Transparenz zwingen, da sich die Multidimensionalität und die Zielpräferenzen sichtbar durch das gesamte Verfahren hindurchziehen.

Zuletzt sei noch auf den noch nicht erwähnten Aspekt der Partizipation eingegangen. Wie Rauschmayer (2000a,b) schreibt, ist im Naturschutz Partizipation eine nahezu unumgängliche Voraussetzung für eine Konfliktlösung. Rauschmayer führt verschiedene Gründe an (unter anderem die explizite Berücksichtigung unterschiedlicher Ziele), warum die multikriterielle Analyse hier anderen Verfahren wie etwa der Nutzen-Kosten-Analyse überlegen ist.

Danksagung

Felix Rauschmayer und Bernd Hansjürgens danke ich für hilfreiche Kommentare zu diesem Manuskript.

Literatur

Drechsler M., Wissel C. (1998): Trade-offs between local and regional scale management of metapopulations. Biological Conservation 83: 31-41.

Drechsler, M. (1999): Verfahren zur multikriteriellen Entscheidungsanalyse bei Unsicherheit. In Horsch, H., Ring, I. (Hrsg.): UFZ-Bericht - Naturressourcenschutz und wirtschaftliche Entwicklung, Leipzig, S. 187-214.

Laux, H. (1998): Entscheidungstheorie. Springer, Berlin.

Rauschmayer, F. (2000a): Entscheidungsverfahren in der Naturschutzpolitik: die Multi-Kriterien-Analyse als Integration planerischer, ökologischer, ökonomischer und ethischer Überlegungen. Peter Lang, Frankfurt.

Rauschmayer, F. (2000b): Ethics of Multi-Criteria Analysis. International Journal of Sustainable Development 3/1, 16-25.

Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991): Multi-Criteria Analyse. Springer, Berlin.

Stewart, T.J. (1992): A critical survey on the status of multiple criteria decision making – theory and practice. In: OMEGA International Journal of Management Science 20, 5/6, 569-586.

Weitzmann, M.L. (1993): What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. Quarterly Journal of Economics 108, 157-183.

5. Abbildungen

Abbildung 1: Unvollständige Rangordnung der Alternativen 1 bis 4.

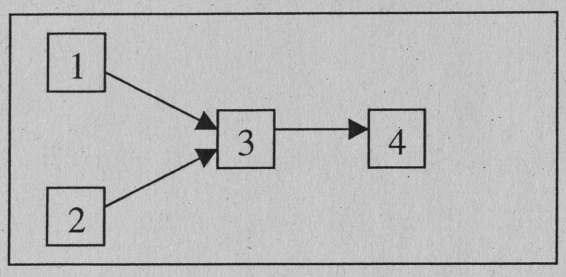
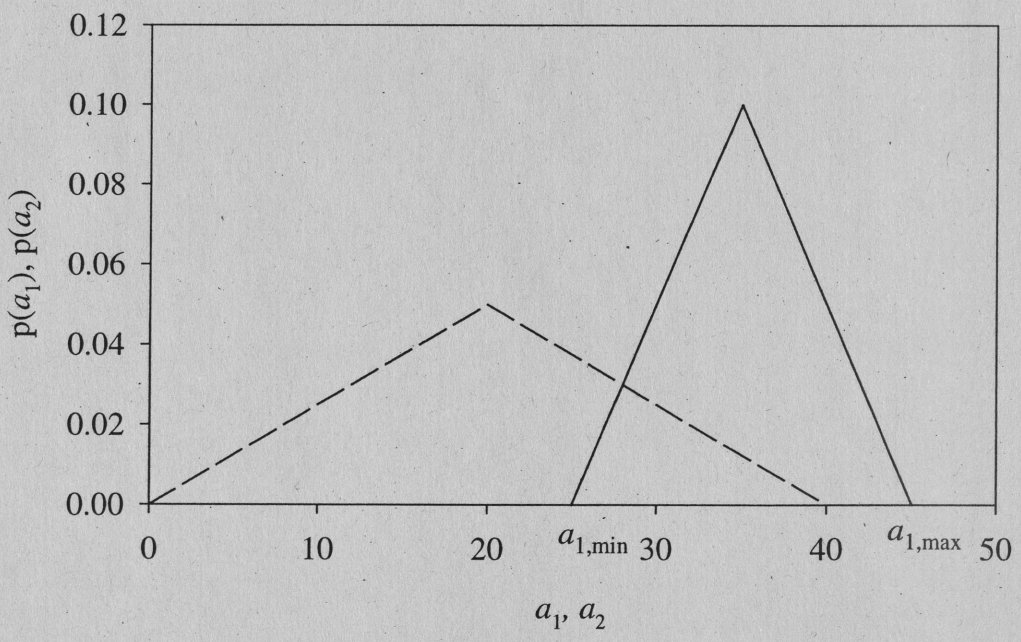


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeitsverteilungen zweier Zufallsgrößen a_1 (durchgezogene Linie) und a_2 (gestrichelte Linie).



Als UFZ–Diskussionspapiere sind bisher erschienen:

Published UFZ-Discussion Papers:

1/1998	Bernd Klauer	Was ist Nachhaltigkeit und wie kann man eine nachhaltige Entwicklung erreichen?
2/1998	Frank Wätzold	Efficiency and applicability of economic concepts dealing with environmental uncertainty. A critical analysis
3/1998	Raimund Krumm	Produktivitätsorientierte Steuer–Subvention–Systeme auf der Basis von Emissionsintensitäten
4/1998	Irene Ring, Karin Frank, Georg Kneer	Incentives for nature conservation in urban landscapes
5/1998	Irene Ring	Zum Einsatz ökonomischer Instrumente der Umweltpolitik: Ausgewählte Ergebnisse der Städteumfrage 1997
6/1998	Raimund Krumm	Die sektorale Emissionssteuer mit ouputdeterminierter Partialredistribution: Konzeption und Anwendung
1/1999	Martin Drechsler, Frank Wätzold	Towards an efficient spatial allocation of biodiversity-enhancing farming practises
2/1999	Bernd Klauer	Pricing in ecosystems: a generalized linear production model
3/1999	Raimund Krumm	Das "Lokale Agenda 21"-Konzept unter deutschen Rahmenbedingungen: eine wirtschaftswissenschaftliche Bewertung
4/1999	Bernd Klauer, Frank Messner, Felix Herzog	Supporting Decisions on Conflicting Land-uses: an Integrated Ecological-economic Approach
5/1999	Alexandra Bültmann, Frank Wätzold	Die wirtschaftsnahe Ausgestaltung des Öko-Audit-Systems in Deutschland: Erfahrungen und Analyse
6/1999	Arbeitskreis Suburbanisierung	Ostdeutsche Stadt-Umland-Regionen unter Suburbanisierungsdruck – Positionspapier
1/2000	Frank Messner	Nicht-erneuerbare Massenressourcen zwischen Dematerialisierung, Transmaterialisierung und globaler Umweltbelastung - eine empirische Analyse
2/2000	Irene Ring	Intergovernmental Fiscal Relations and Regional Sustainability

3/2000	Juliane Jörissen, Georg Kneer, Dieter Rink	Synopse zur Umsetzung des Leitbildes der Nachhaltigkeit in konzeptionellen Studien und nationalen Plänen
4/2000	Frank Wätzold, Alexandra Bültmann, Malcolm Eames, Kris R.D. Lulofs, Simone Schucht	EMAS II and regulatory relief in Europe: Lessons from national experience
5/2000	Frank Messner	Ansätze zur Bewertung von Naturqualitäten im regionalen Entwicklungsprozess
6/2000	Raimund Krumm	SEOP-Quersubventionierung zwischen Stromproduzenten als Komplementärkonzept zur Elektrizitätssteuer?
7/2000	Frank Wätzold, Alexandra Bültmann	Wie viele Unternehmen sollten an einem Umweltmanagementstandard teilnehmen? Ökonomische Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen
8/2000	Raimund Krumm	Budgetäre Implikationen nachhaltigkeits-kompatibler Rahmenbedingungen bezüglich des kommunalen Flächenmanagements
9/2000	Martin Drechsler	Die Bewertung von Biodiversitätsschutz-maßnahmen mit Hilfe multikriterieller Analyse

UFZ–Diskussionspapiere können jeweils bei den Autoren am UFZ–Umwelt-forschungszentrum Leipzig–Halle, PF 2, 04301 Leipzig bezogen werden.

UFZ–Discussion Papers can be ordered from the authors at the UFZ Centre for Environmental Research Leipzig–Halle, P.O. Box 2, D–04301 Leipzig, Germany.