



MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER ANWENDUNG VON  
GEOGRAPHISCHEN INFORMATIONSSYSTEMEN IN GEBIRGSRÄUMEN

Possibilities and limitations of the application of  
Geographical Information Systems in mountainous regions

E. GUNDERMANN - M. SUDA

**Zusammenfassung**

Die stürmische Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung hat mit den Geographischen Informationssystemen (GIS) ein Instrument hervorgebracht, das sich in vielen Bereichen der Planung und Forschung großer Beliebtheit erfreut. Anhand von Beispielen wird der bisherige Einsatz von GIS im Alpenraum kritisch hinterfragt und Möglichkeiten aufgezeigt, wie deren Entscheidungsbasis durch die Anwendung von Kosten-Nutzen-Analysen sowie die Theorie der Unschärfer Mengen verbessert werden kann.

**Summary**

The rapid development of EDP created with the Geographical Information Systems (GIS) a tool, which enjoys great popularity in many fields of planning and research. By examples the application of GIS in the Alps is critically questioned and possibilities are shown, to improve the decision basis by applying cost-benefit-analysis and fuzzy-set-theory.

**1. Einleitung**

Unter einem Geoinformationssystem wird heute ein rechnergestütztes System verstanden, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfaßt und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden (BILL und FRITSCH, 1991). In dieser umfassenden Definition spiegelt sich ein Prozeß wider, der in den 50er Jahren mit der Ent-

wicklung von Vektor- und Liniengraphik seinen Ausgang nahm und gegenwärtig mit der Schaffung von Computervisionen, also der simulativen Erzeugung bewegter Bilder ihren vorläufigen Höhepunkt erreicht hat (s.a. MEIER, 1986). Schrittmacher dieser Entwicklung war u.a. die Geodäsie, die in unserem Raum mit Beginn der 70er Jahre das Pilotprojekt: Automatisierte Liegenschaftskarte in das amtliche Vermessungswesen einführte und hierdurch die Entwicklung von Geographischen Informationssystemen (GIS) nachhaltig beeinflusste. Vor allem die gemeinsame Verwaltung und Analyse von Geometrie- und Sachdaten der heute auf dem Markt angebotenen GIS hat dazu geführt, daß sie in jüngerer Zeit auch in der Raum- und Fachplanung Anwendung finden und sich als problemorientiertes, leistungsfähiges und flexibel handhabbares Instrument wachsender Beliebtheit erfreuen. Ihr Einsatz wird auch in Zukunft stark ansteigen, so daß GIS aus der Planungspraxis nicht mehr wegzudenken sind (SCHMID, 1989).

## 2. GIS im Alpenraum

GIS haben inzwischen auch im Alpenraum Einzug gehalten. Eine 1989 von der ARGE ALP durchgeführte Befragung zu diesem Thema erbrachte zwar noch einen sehr unterschiedlichen Entwicklungsstand in den damals 9 Mitgliedsländern, der Trend geht jedoch eindeutig in Richtung der Etablierung von GIS in diesen Ländern, die vorwiegend den mittleren Alpenbereich abdecken (ARGE-ALP, 1989). Ähnlich dürfte der Prozeß auch im westlichen und östlichen Alpenbogen ablaufen, die seit 1978 in den Arbeitsgemeinschaften ALPEN ADRIA bzw. seit 1982 in der COTRAO zusammengeschlossen sind. Obwohl also die Länder und Regionen der Alpen in unterschiedlichen Gemeinschaften miteinander kooperieren, hat es den Anschein, daß die Einführung von GIS verhältnismäßig unverbunden, ohne ein abgestimmtes Vorgehen stattfindet. So wertvoll auch bislang durchgeführte Pilotstudien über die Einsatzmöglichkeiten von GIS etwa im Bündner Rheintal durch THÖNI et al (1990), durch ASHDOWN und SCHALLER (1990) im Nationalpark Berchtesgaden, sowie durch DORNINGER (1991) im Nationalpark Kalkalpen sind, es sind jeweils Insellösungen für Problemsituationen. Der bisherige Einsatz von GIS legt den Schluß nahe, daß Entscheidungen für ihre Beschaffung lediglich nach Maßgabe der zur Verfügung stehenden Finanzmittel getroffen werden, daß die methodischen Ansätze stark voneinander abweichen, die Ergebnisse mithin nicht oder nur eingeschränkt vergleichbar sind. So herrscht auch auf Seiten der Anwender von GIS im Alpenraum ein latentes Unbehagen

über die Effizienz des Einsatzes dieses Instrumentes vor. Kaum jemand hat sich jedoch- soweit ersichtlich - die Mühe gemacht, Nutzen- Kosten- Überlegungen zu dieser Frage anzustellen. Dies ist umso bedauerlicher, als der Einsatz von GIS in den Alpen auf absehbare Zeit mit einigen spezifischen kostenträchtigen Schwierigkeiten zu kämpfen hat, deren gemeinsame Lösung sicher ressourcensparend wäre.:

1. Ein "Flaschenhals" bei der Etablierung von GIS im Gebirge besteht sicher in der Datenerfassung, etwa auf Seiten der Höheninformationen, da wegen der vorherrschenden Reliefenergien in erheblichem Umfang Höhenwerte digitalisiert werden müssen - auf absehbare Zeit wird dies bei groß- und mittelmaßstabigen Untersuchungen sehr kosten-, zeit- und personalaufwendig, nur manuell oder allenfalls halbautomatisch erfolgen können. Nicht entschieden ist ferner die Frage der bestmöglichen Art der Höhenintegration. Die bislang vorherrschende Sachdatenabsorption ist zwar die einfachste, jedoch wenig leistungsfähige Art der Höhenberücksichtigung. Empfehlen dürfte sich etwa für den alpinen Raum eine Weiterentwicklung der raumbezogenen Datenbanken in Richtung einer echten 3-D-Verwaltung (FRITSCH, 1990; BILL und FRITSCH, 1991).

2. Schwierig ist auch die Frage, "weiche" Daten, die keinen unmittelbaren Raumbezug erkennen lassen, in GIS zu integrieren. Hierzu gehören die Absichten der Landwirte im alpinen Raum, die Bewirtschaftung ihrer Flächen aufzugeben, die Neigung der Waldbesitzer, die Waldpflege zu extensivieren (s.a. PFI-STER et al, 1988), die Verhaltensintentionen der Nah- und Fernerholungsuchenden bei der Benutzung der Alpen als Großerholungsgebiet oder die oft nur diffus artikulierten Interessen der Einheimischen im Hinblick auf die weitere Entwicklung ihres Lebensraumes.

3. Ein weiteres Problem ergibt sich aus der Überlagerung spezifischer Nutzungsarten und Raumansprüche in Gebirgsräumen als in der Regel ökologisch hochsensiblen Landschaften. Grundsätzlich ist zwar diese Überlappung von Raumansprüchen im Rahmen von GIS elegant durchführbar, und die Erzeugung entsprechender thematischer Karten ohne größere Probleme möglich. Ja, die Verschneidung von Flächen und ihre Präsentation durch Computergrafik sowie die gegebenen Möglichkeiten des interaktiven Eingriffs in diese Darstellungen, sind bislang eine der Hauptanwendungsfelder von GIS. Sie machen einen guten Teil ihrer Attraktivität auch im Alpenraum aus. BENKING (1990)

warnt jedoch in diesem Zusammenhang auch vor den Gefahren "visueller Demagogie". Flächenverschneidungen wurden nach der Binärlogik von GIS bislang überwiegend durch reine Überlagerung von Nutzungsarten durchgeführt. Sie vermitteln oft nur ein grobes Bild möglicher Nutzungskonflikte und haben nur eine begrenzte Aussagekraft für planungspraktische Fragen. Durch den Einsatz der Theorie der unscharfen Mengen (ZADEH, 1965) bei Flächenverschneidungen könnten Nutzungskonflikte detaillierter und realitätsnäher abgebildet werden.

4. Auch der Einsatz von GIS auf Fragestellungen, die bislang in den Alpen mit konventionellen Methoden erfolgreich bearbeitet wurden, muß sich unter Effizienz Gesichtspunkten rechtfertigen lassen. Zum Beispiel haben sich die in den Alpenländern in den 70er und 80er Jahren durchgeführten Gefahrenzonenplanungen im Grundsatz bewährt und sind in die Flächenwidmungspläne etwa der Gemeinden in Tirol eingeflossen. Die Erstellung dieser Gefahrenzonenpläne erfolgte konventionell auf analogen Karten. Eine etwa beabsichtigte Digitalisierung dieser Karten und ihre Einspeisung in ein GIS müßte spezifisch unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten begründet werden.

### 3. Kosten-Nutzenuntersuchungen von GIS in Gebirgsräumen

Diese und andere Gründe sprechen nach Meinung der Autoren dafür, daß zumindest versucht werden sollte, vor dem herannahenden großräumigen Einsatz von GIS im Alpenraum Kosten-Nutzen-Studien durchzuführen, darüber hinaus nach Methoden zu suchen, wie Konflikte bei der Überlagerung von Nutzungsarten und Raumansprüchen im Alpenraum wirklichkeitsnäher abgebildet werden könnten. Es wäre dies ein lohnendes Unternehmen bei Planungen etwa von Nationalparks im Alpenraum, bei alpenübergreifenden Infrastrukturmaßnahmen oder bei Sanierungsvorhaben in Waldschadensgebieten der Alpen. Trotz aller Unterschiede in den natürlichen Gegebenheiten, in der politischen, wirtschaftlichen und sozialen Ausgangssituation in den Ländern der Alpen, sowie im Maßstab und der Reichweite bestehender Programme und Projekte in den Alpen sollte hier ein Vorstoß unternommen werden. Ein möglicher Teilansatz wäre, daß sich zunächst die Fachverwaltungen auf ein Rahmenkonzept für die Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen einigen und gemeinsam nach Methoden Ausschau halten, wie mögliche Nutzungskonflikte unter Einbindung von GIS besser erfaßt und beurteilt werden können. Daß Ko-

sten-Nutzen-Untersuchungen hier erfolgreich eingesetzt werden können, zeigt der National GIS Plan des US Forest Service, der 1989 für den Bereich der gesamten Bundesforsten vorgelegt wurde (USDA, Forest Service, 1989). Einen ähnlichen, wenn auch weniger anspruchsvollen Versuch hat die Bayerische Staatsforstverwaltung gestartet, indem sie vor Einführung eines Forst-GIS 1989 eine Wirtschaftlichkeitsanalyse vorlegte (ROTTMANN und SCHREYER, 1991). Gestützt auf die hier gesammelten Erfahrungen sollen nachfolgend zunächst einige Vorstellungen unterbreitet werden, wie solche Kosten-Nutzen-Studien (KNA) im Zusammenhang mit der Implementation von GIS etwa im Alpenraum durchgeführt werden könnten.

1. Eine KNA von GIS setzt voraus, daß vorhabenbezogen spezifiziert wird, was sind die Kosten- und Nutzenströme, die mit und ohne Implementation eines GIS zu erwarten sind. Zu diesem Zweck muß soweit als möglich das Anforderungsprofil definiert werden, also welche Informationseinheiten oder Produkte mit und ohne GIS auf der Nutzenseite bei einem Projekt oder Programm erzeugt werden sollen, und welcher Input an Kosten aus Hardware, Software, Personal, Organisation und Telekommunikation hierfür notwendig ist. Dabei müssen in der durchzuführenden KNA mehrere gangbare GIS-Alternativen mit der Alternative ohne GIS produktbezogen verglichen werden. Sonst besteht die Gefahr, daß suboptimale Lösungen ausgewählt werden und somit Opportunitätskosten entstehen.

2. Darüber hinaus muß Klarheit darüber herrschen, welche methodische Variante der KNA herangezogen wird, welches Entscheidungskriterium gelten soll, wie der Betrachtungszeitraum ausgelegt und welcher Zinsfuß zweckmäßigerweise angesetzt werden soll. Vor dem Hintergrund der leider sehr spärlichen Literatur zum Thema KNA und GIS wird hier empfohlen, die Kapitalwertmethode anzuziehen, als Entscheidungskriterium den Nutzenüberschuß zu wählen, einen Betrachtungszeitraum von 10, allenfalls 20 Jahren zugrunde zu legen und für die ersten 10 Jahre einen niedrigen, für u.U. weitere 10 Jahre einen wesentlich höheren Zinsfuß zu wählen. Zur Begründung sei angeführt, daß die Kapitalwertmethode einen komprimierten Gesamteindruck der zu erwartenden Nutzen und Kosten für die Lebensdauer eines Vorhabens zu gegenwärtigen Preisen und Kosten vermittelt, ferner daß der Nutzenüberschuß als Auswahlkriterium die Tatsache reflektiert, daß die Finanzmittel für ein GIS knapp sind (s.a. MISHAN, 1975). Eine Beschränkung des Zeithorizontes auf i.d.R. 10 Jahre stellt in Rechnung, daß ein politischer, wirtschaftlicher oder auch

psychologischer Druck besteht, daß mit der Einführung eines GIS in absehbarer Zeit ein positiver Nettonutzen erwirtschaftet wird (s.a. DURWEN, 1991). Die unterschiedliche Zinsfüße sollen sicherstellen, daß über die Kosten und Nutzen nur für einen überschaubaren Zeitraum von etwa 10 Jahren einigermaßen verlässliche Aussagen gemacht werden können, daß diese aber für weitere 10 Jahre ziemlich spekulativ sind. Hier ist zu bedenken, daß die GIS-Technologie auf dem Hard- und Software-Sektor rasant fortschreitet, etablierte Systeme nach einem gewissen Zeitraum entweder auf den neuesten Stand gebracht oder ausgemustert werden, mithin Nutzen und Kosten nach 10 Jahren, wenn überhaupt, dann nur mit geringen Teilbeträgen wegen des höheren Zinsfußes in den Kapitalwert eingehen sollten.

3. Eine projektbezogene KNA von GIS kann naturgemäß nur solche Nutzen und Kosten in Geldeinheiten bewerten, die tangibel sind. Tangible Kosten für die Herstellung bestimmter Produkte z.B. Karten, mit und ohne GIS können ohne Kardinalprobleme hergeleitet werden. Wesentlich größere Schwierigkeiten bereitet die Ermittlung der tangiblen Nutzen mit und ohne GIS. Soweit hier der Nutzen für bestimmte Produkte nicht unmittelbar monetär zu valutieren ist, bietet sich an, den Nutzen dieser Produkte z.B. bei Karten, mit und ohne GIS über die durch den Einsatz von GIS erzielten Kosteneinsparungen etwa auf dem Personalsektor darzustellen. Dennoch gibt es intangible Nutzen und Kosten, die sich einer physischen Erfassung und Bewertung in Geldeinheiten zunächst entziehen, z.B. auf der Kostenseite organisatorische Schwierigkeiten oder Akzeptanzprobleme im Zusammenhang mit dem Einsatz von GIS, auf der Nutzenseite das Mehr an qualifizierten Informationen, die ungeahnten Chancen vertiefter Analysen, die phantastischen Möglichkeiten der Modellierung, der visuellen Präsentation und Manipulation. Diese Intangibles müssen ebenfalls berücksichtigt werden, sollen die Kosten-Nutzen-Analysen kein Torso bleiben.

Eine Möglichkeit hierzu besteht darin, die nicht monetarisierbaren Effekte von GIS möglichst vollständig nach Durchführung einer KNA aufzulisten und argumentativ den in Geldeinheiten bewerteten gegenüber zu stellen. Nach EMERY (1971) müssen hier die intangiblen Nutzen dann nicht eigens quantifiziert werden, wenn das GIS auf der Basis der tangiblen Nutzen und Kosten gerechtfertigt werden kann - unter angemessener Berücksichtigung der intangiblen Kosten. Ein anderes Vorgehen kann darin bestehen, daß eine Art Nutzwertanalyse auf ordinalem Niveau für die intangiblen Nutzen und Kosten durchgeführt wird mit dem Ergebnis, daß letztlich ein Gesamtrang für die In-

tangibles jeder GIS-Alternative ermittelt wird, der Aufschluß gibt über deren relative Vorzüglichkeit. Dieses Resultat muß dann wieder vor dem Hintergrund der Befunde der KNA der GIS gesehen und mit ihr abgewogen werden (s.a. USDA Forest Service, 1989).

4. Spezifische Probleme treten dann auf, wenn die Ziele einer GIS-Implementation zunächst überwiegend nicht in Produkteinheiten ausgedrückt werden können. Solche Fälle ergeben sich, wenn GIS allgemein dazu dienen soll, den Entscheidungsprozeß zu verbessern, indem durch sie Planungsunsicherheiten und -risiken vermindert werden sollen. Prinzipiell erscheinen auch diese Probleme lösbar, denn "nahezu jedem Nutzen kann ein tangibler Wert zugeordnet werden, wenn auf die Lösung dieser Aufgabe nur genügend Mühe verwendet wird" (EMERY, 1971). Dies sei am Beispiel der Aussage, GIS verbesserten den Entscheidungsprozeß näher erläutert (WILCOX; 1990).

Das Ziel Entscheidungsverbesserung muß zunächst in verschiedene Komponenten aufgetrennt werden. Wie und in welchem Umfang wird GIS den Entscheidungsprozeß verbessern? Welche Anforderungen werden an das System gestellt? Was muß das System leisten, um den Entscheidungsprozeß zu verbessern? Zum Beispiel kann eine verbesserte Entscheidung das Ergebnis s c h n e l- l e r e r Informationsbeschaffung sein. Diese Eigenschaft kann wiederum in den Anforderungen der GIS-Benutzer zum Ausdruck gebracht werden. EMERY schlägt hier vor, daß in den Aussagen der Nutzeranforderungen fixiert wird der Zeitraum, innerhalb dessen das GIS die Antworten bereithalten soll. Der GIS-Anbieter kann dann für jeden Zeitraum angeben, welche Kosten mit der Erfüllung dieser Anforderungen verbunden sind. Durch diese und andere Überlegungen können also auch vage artikulierte Zielsetzungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von GIS strukturiert werden. Hierauf soll jedoch nicht näher eingegangen werden. Im folgenden sollen vielmehr Vorschläge unterbreitet werden, wie durch den Einsatz der Theorie der Unscharfen Mengen im Zusammenhang mit GIS Nutzungskonflikte spezifischer beurteilt werden können.

#### 4. Die Theorie der Unscharfen Mengen - ein Beitrag zur Lösung der Klassifikations- und Bewertungsprobleme im Rahmen von GIS

Ein wichtiges Ziel beim Einsatz von GIS besteht darin, Informationen etwa durch die Bildung von Klassen zu verdichten. Bei dieser Klassenbildung trifft man auf das tückische Entscheidungsproblem der Grenzwertziehung, das zu meist auf der Basis gutachtlicher Festlegung oder statistischer Untersuchungen gelöst wird. Die Klassengrenzen werden dabei scharf definiert. Formal läßt sich dieses Problem durch die Funktion  $\sigma$  darstellen, welche eine vorgefundene Situation einer Klasse zuordnet oder nicht.

Zur weiteren Verknüpfung dieser Klassen werden vor allem die Booleschen Operatoren "und/oder" angewendet, die auftretenden Kombinationen über Matrizen oder Entscheidungsbäume bewertet, was je nach Anzahl der ausgeschiedenen Klassen einen erheblichen Aufwand an Einzelbewertungen erfordert. Um die Zahl dieser Bewertungen in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wird bereits bei Ausscheidung der Klassen deren Zahl möglichst gering gehalten. Damit ist jedoch das Problem verbunden, daß die Unschärfe und auch die Zuordnungsfehler deutlich zunehmen, was bei der kartografischen Präsentation oft vertuscht wird. Die Unsicherheit der Entscheidungen bei der Klasseneinteilung und Verknüpfung wird für den Benutzer dieser Kartenwerke meist nicht deutlich.

Die Theorie der Unscharfen Mengen oder Fuzzy-Sets, die auf den Systemtheoretiker ZADEH (1965) zurückgeht, basiert dagegen auf dem einfachen Gedanken, die Zugehörigkeit eines Gegenstandes, einer Situation oder einer Person zu einer Menge graduell anzugeben. Die Unsicherheit, die Vagheit und die daraus resultierende Abstufung der Zugehörigkeit sollen dabei gezielt berücksichtigt werden (WAHLSTER, 1977). Formal bedeutet dies, daß die Funktion  $\sigma: x \rightarrow (0,1)$ , die eine scharfe Klassifikation vornimmt, durch die Funktion  $\mu: x \rightarrow [0,1]$  ersetzt wird, wobei die Zugehörigkeitsfunktion alle Werte zwischen 0 und 1 und nicht nur die Werte 0 oder 1 annehmen kann. Für jedes Objekt wird somit Zugehörigkeit zur Klasse graduell angegeben. Die scharfe, abrupte Trennung wird aufgegeben, der Übergang fließend. Diese unscharfe Klassifikation entspricht eher den Verhältnissen in natürlichen oder sozialen Systemen. Die Natur kennt keine scharfen Grenzen, es gibt lediglich Übergänge, Unklarheit, Zweideutigkeit und Verallgemeinerung (VESTER, 1980).



Die von BILL und FRITSCH (1991) beschriebenen fehlerhaften Annahmen bei der Anwendung von GIS, wie scharf definierbare Abgrenzung, allgemein gültige Klassifizierung hinsichtlich der Objekte und der sie charakterisierenden Attribute, werden somit durch die Anwendung der Theorie der Unscharfen Mengen beseitigt oder zumindest in Teilen verbessert.

Auf der Grundlage der oben genannten Definition besteht eine Unscharfe Menge  $U$  aus geordneten Wertepaaren  $U = \{(x, \mu_U(x)) \mid x \in X\}$ , wobei  $\mu_U(x)$  den Grad der Zugehörigkeit von  $x$  zur Unscharfen Menge  $U$  angibt.  $\mu_U : X \rightarrow [0,1]$  heißt Zugehörigkeitsfunktion. Dies bedeutet eine Transformation der jeweiligen Kriterienausprägung auf Zugehörigkeitswerte zwischen 0 und 1. Die Zugehörigkeitsfunktion selbst soll - und hierin liegt ein schwieriges Bewertungsproblem - für das betrachtete Kriterium typisch sein und den Verlauf der Unsicherheit und somit der Zugehörigkeit des Kriteriums realitätsnah wiedergeben. Nach SCHWAB (1983) wird die S-Funktion, die ein logistisches Wachstum der Zugehörigkeit zur Klasse annimmt, bevorzugt herangezogen, da bei ihr keine Widersprüche zur Theorie der Unscharfen Mengen, wie etwa bei scharfen Übergängen einer Treppenfunktion auftreten.

Zur Verknüpfung von Zugehörigkeitsfunktionen stehen wiederum eine Reihe von Operatoren zur Verfügung, die nachstehend vorgestellt werden sollen. Eine ausführliche Diskussion findet sich in SCHWAB (1983).

Operator (O)	Formel
Min-Operator	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = \min\{\mu_1, \dots, \mu_m\}$
Max-Operator	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = \max\{\mu_1, \dots, \mu_m\}$
Beschränkte Summe	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = \min\{1, \mu_1 + \dots + \mu_m\}$
Arithmetisches Mittel	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = 1/m * \mu_1 + \dots + 1/m * \mu_m$
Geometrisches Mittel	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = \mu_1^{1/m} * \dots * \mu_m^{1/m}$
Algebraisches Produkt	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = \mu_1 * \dots * \mu_m$
Algebraische Summe	$O_m(\mu_1, \dots, \mu_m) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \mu_m)$

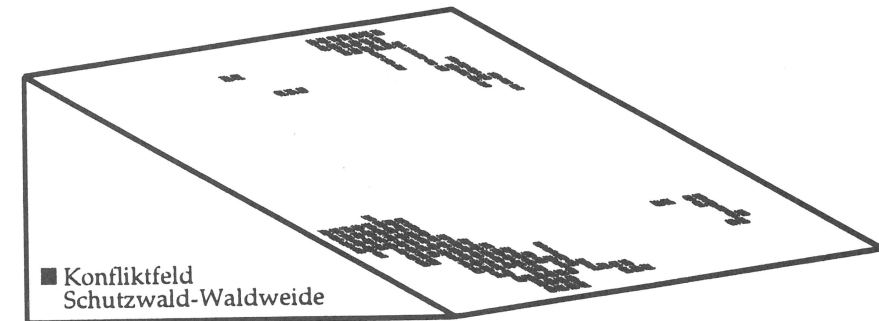
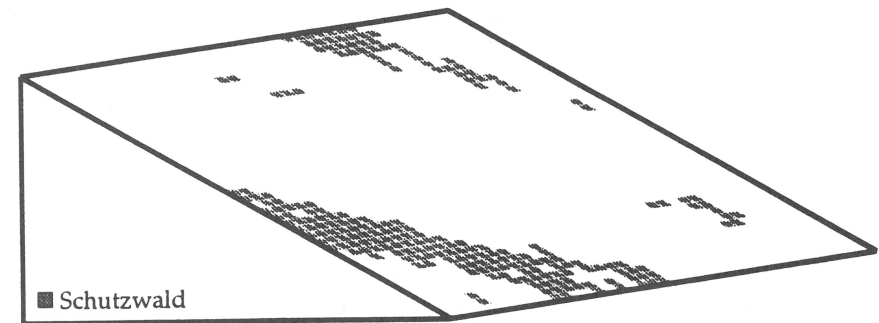
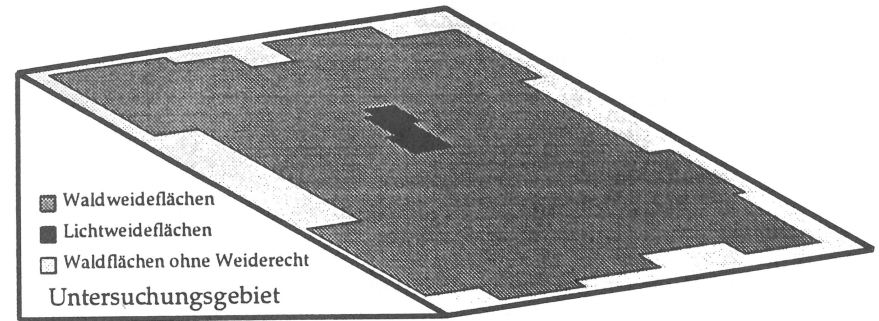
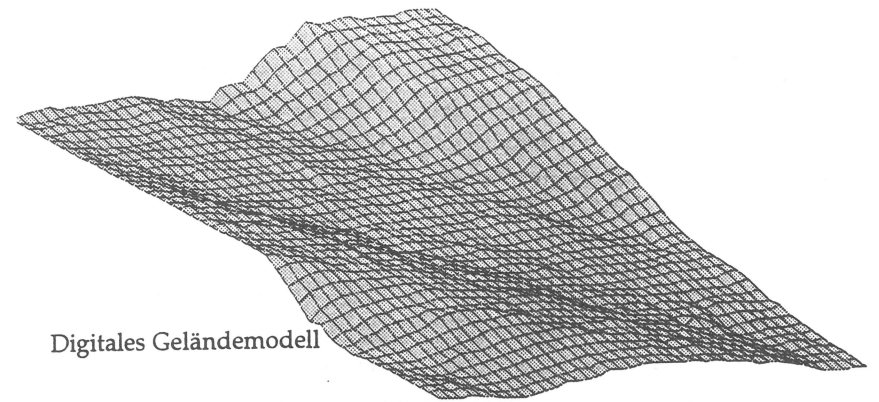


Abb.1: Digitales Geländemodell und Überlagerung von Flächen in einem GIS (Projektion)  
 Fig.1: Digital terrain model and combination of areas in a GIS (projection)

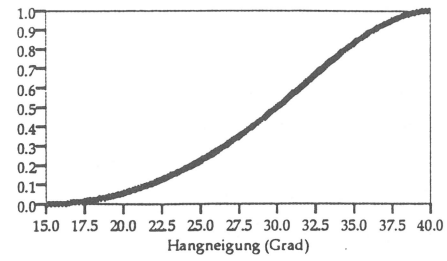
## 5. Die Anwendung der Theorie der Unscharfen Mengen auf das Konfliktfeld Schutzwaldbewirtschaftung und Waldweidenutzung

Die Möglichkeiten des skizzierten Konzepts sollen an einem einfachen fiktiven Beispiel, das in PASCAL programmiert wurde, dargestellt werden. Betrachtet werden soll das mögliche Konfliktfeld zwischen Schutzwaldbewirtschaftung und deren Beeinträchtigung durch Waldweide. Bekanntlich kann der Tritt und Verbiß durch das Weidevieh in besonderem Maße in Schutzwäldern zu Problemen bei der Verjüngung führen. Im Beispiel wird davon ausgegangen, daß um eine Lichtweide ein Waldweiderecht für die angrenzenden Waldungen besteht und die Licht- sowie die Waldweide im GIS kartografisch ausgewiesen ist. Die Festlegung der Schutzwaldflächen soll dann im Rahmen von GIS über das Kriterium Hangneigung erfolgen, indem alle Bereiche über  $30^\circ$  Neigung bei einer scharfen Trennung der Klasse Schutzwälder zugeordnet werden. Jeder Koordinatenpunkt wird somit bei der scharfen Klassifizierung der Nutzungsart Lichtweide, Waldweide oder Waldflächen ohne Weiderecht zugeordnet und ferner vorgetragen, ob es sich um Schutzwald handelt oder nicht. Eine klassische Überlagerung im Rahmen eines GIS ergibt die in Abb. 1 dargestellte Konfliktfläche, die alle Punkte enthält, die Schutzwald sind und im Waldweidegebiet liegen. Über die Art der jeweiligen Konflikte oder über deren Intensität kann mit diesem Konzept jedoch keine Aussage getroffen werden.

Zur Anwendung der Theorie der Unscharfen Mengen ist nun erforderlich, die scharfe Grenze der Schutzwalddefinition aufzulösen. Es wird hier angenommen, daß bereits eine Hangneigung über  $15^\circ$  auf Schutzwaldeigenschaften hindeutet, diese bei  $30^\circ$  deutlich wird (Zugehörigkeit 0.5) und ab  $40^\circ$  voll gegeben ist. Die Zugehörigkeitsfunktion ist in Abb. 2 vorgetragen. (Zur Berechnung der dargestellten kubischen Splinefunktion wurde ein PASCAL-Programm entwickelt, das nach Eingabe der Grenzwerte und des Wertes, bei dem die Funktion den Wert 0.5 annimmt, eine stetige und differenzierbare Funktion berechnet.) In Abb. 2 sind obendrein alle Flächen dargestellt, für welche die Zugehörigkeitsfunktion Werte annimmt, die größer als 0.4 sind.

Zur unscharfen Darstellung der Waldweidefläche wird ferner angenommen, daß mit zunehmender Entfernung von der Lichtweide der Einfluß der Waldweide abnimmt. SCHREYER und RAUSCH (1978) haben in diesem Zusammenhang festgestellt, daß ein deutlicher Einfluß der Waldweide bis zu einer

Zugehörigkeit zur Klasse Schutzwälder



Zugehörigkeit zur Klasse Waldweidebelastung

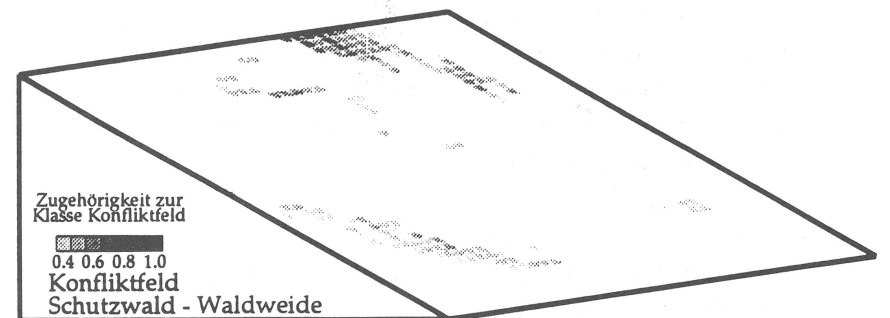
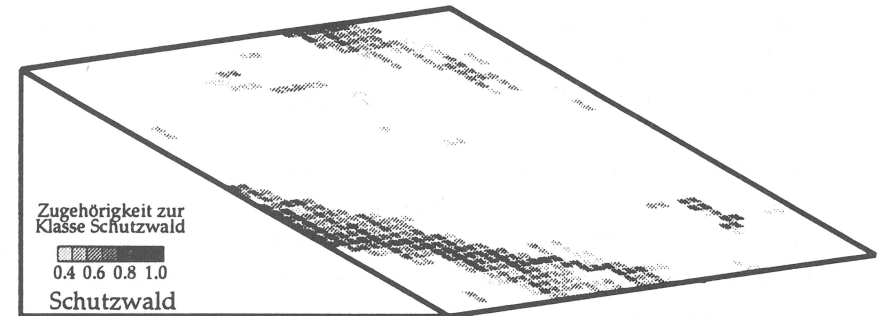
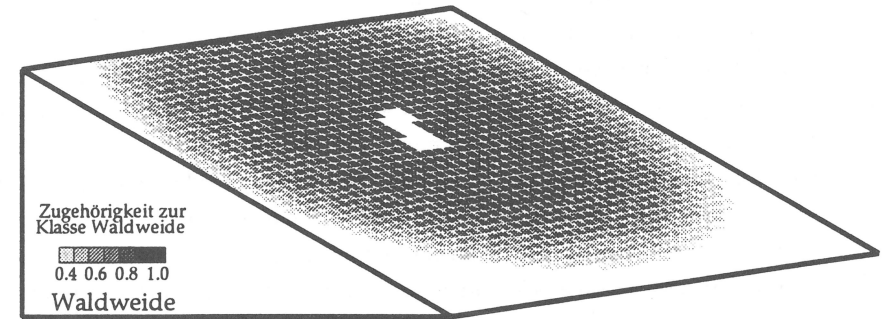
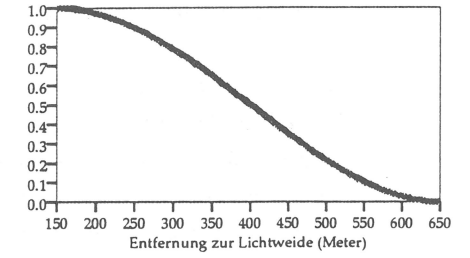


Abb.2: Zugehörigkeitsfunktionen u. Unschärfe-Mengen-Verknüpfung von Flächen (Projektion)  
Fig.2: Membership functions and Fuzzy-set-combinations of areas (projection)

Entfernung von 150 m von der Lichtweide statistisch nachweisbar ist. Bis zu dieser Grenze haben wir daher einen Wert der Zugehörigkeitsfunktion von 1, bei einer Entfernung von 400 m von 0.5, und bei 650 m von 0 angenommen. Die entsprechende Zugehörigkeitsfunktion sowie die Ergebnisse dieser unscharfen Klassifikation der Waldweideflächen für Werte oberhalb 0.4 sind ebenfalls in Abb. 2 dargestellt.

Zur Erfassung der Konfliktfläche werden die beiden Zugehörigkeitsfunktionen schließlich mit dem Operator Algebraisches Produkt verknüpft. Im Vergleich zur scharfen Klassifikation zeigt sich in Abb. 2, daß im Bereich der Lichtweide Flächen liegen, auf denen durchaus mit einem Konflikt zwischen Waldweidenutzung und Schutzwaldbewirtschaftung zu rechnen ist, den die scharfe Klassifikation nicht verdeutlicht. Die Übergänge sind fließend. Geht man nun, was innerhalb des Modells leicht möglich ist, z.B. von einer deutlichen Verringerung des Bestoßes auf der Licht- und Waldweidefläche aus, so würde die unscharfe Verknüpfung auch die hieraus erwachsenden Effekte aufzeigen.

Das vorgestellte Instrument besitzt somit gegenüber der scharfen Klassifikation den Vorteil, daß im Rahmen eines GIS nicht nur Konfliktbereiche nach Art und Intensität realitätsnäher beurteilt sondern auch Strategien zur Problemlösung in ihren Auswirkungen besser eingeschätzt werden können.

#### Literaturverzeichnis

- Arge Alp (1989): Geoinformationssysteme. Arbeitsgemeinschaft Alpenländer Kommission II, Raumordnung, Umweltschutz und Landwirtschaft. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, 187 S.
- Ashdown, M. - Schaller, J. eds. (1990): Geographic Information Systems and their Application in MAB Projects, Ecosystem Research and Environmental Monitoring. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, MAB Mitteilungen Nr. 34, 250 S.
- Benking, H. (1987): Möglichkeiten und Grenzen der Datenpräsentation durch Computergrafik im Umweltbereich. In: Jaeschke, A.- Page, B. (Hrsg.): Informatikanwendungen im Umweltbereich, Informatikfachberichte 170, Springer Verlag, S. 155-168
- Bill, R. - Fritsch, D. (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd.1, Wichmann, Karlsruhe, 414 S.
- Dickinson, H.J. - Calkins, H.W. (1988): The Economic Evaluation of Implementing a GIS. International Journal of Geographical Information Systems Vol.2, No.4, p. 307-327
- Dorning, G. (1991): Das Geographische Informations- und Analyse-System im Nationalpark Kalkalpen. In: Dollinger, F. - Strobl, J. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationstechnologie III, Institut für Geographie der Universität Salzburg, S.243-250

- Durwen, K.-J. (1991): Fehlinformation durch Informations-Systeme. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie Bd. 20, S.715-719
- Emery, J.C. (1971): Cost/Benefit Analysis of Information Systems. In: Yourdon, E. (ed.): Writings of the Revolution: Selected Readings on Software Engineering, New York, p. 19-50
- Fritsch, D. (1990): Raumbezogene Informationssysteme und Digitale Geländemodelle. Habilitationsschrift TU München
- Meier, A. (1986): Methoden der grafischen und geometrischen Datenverarbeitung. Teubner, Stuttgart, 224 S.
- Mishan, E.J. (1975): Grundlagen der Kosten-Nutzenanalyse. Campus, Frankfurt, 125 S.
- Pfister, F. - Schmid, P. - Gresch, P. (1988): Gesamtprojekte zur Berglandsanierung. (Hrsg.): Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, 233 S.
- Rottmann, M. Schreyer, G. (1991): Ein forstliches Geo-Informationssystem für die Bayerische Staatsforstverwaltung. Allgemeine Forstzeitschrift 46.Jg, H. 14, S. 732 - 736
- Schmid, W. (1989): Erfahrungen mit dem Einsatz von Geographischen Informationssystemen in Forschung und Unterricht. Typoscript, Zürich, 22 S.
- Schreyer, G. - Rausch, V. (1978): Der Schutzwald in der Alpenregion des Landkreises Miesbach. München, 116 S.
- Schwab, K.D. (1983): Ein auf dem Konzept der Unschärfer Mengen basierendes Entscheidungsmodell bei mehrfacher Zielsetzung. Europäische Hochschulschriften, Reihe 5, Band 431, 165 S.
- Thöni, L. - Peter, K. - Hertz, J. - Bächtold, H.-G. (1990): Ökologische Planung: Ergebnisse der Fallstudie Bündner Rheintal. Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung ETH Zürich, ORL Bericht 76, 162 S.
- United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service (1989): National GIS Plan. Geographic Information System, Washington, 96 p.
- Vester, F. (1980): Zukunftsprognosen, Modelle, Strategien. In: Buchwald, K. - Engelhard, W. (Hrsg.): Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt, München, Bd. 3, S.120-156
- Wahlster, W. (1977): Die Repräsentation von vagem Wissen in natürlichsprachlichen Systemen der künstlichen Intelligenz. Bericht Nr. 38 des Fachbereichs Informatik, Hamburg, 183 S.
- Wilcox, D.L. (1990): Concerning the Economic Evaluation of Implementing a GIS. International Journal of Geographical Information Systems Vol. 4, No. 2, p. 203-210
- Zadeh, L. (1965): Fuzzy Sets. Information and Control Heft 8, p.338-353

Prof. Dr. Egon Gundermann  
 Dr. Michael Suda  
 Lehrinheit für Raumordnung und Umweltrecht  
 Forstwissenschaftliche Fakultät  
 der Ludwig-Maximilians-Universität München  
 Schellingstr. 12, W-8000 München 40