

# Unschärfe und GIS: "Exakte" Planung mit unscharfen Daten?

Thomas BLASCHKE

(Mag. Dr. Thomas BLASCHKE, Institut für Geographie, Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg;  
e-mail: tblaschk@geo.sbg.ac.at)

## 1. PROBLEMSTELLUNG

Das Thema "*Unschärfe von räumlichen Daten*" wird im deutschsprachigen Raum in erstaunlich geringem Maße thematisiert. Die Begriffe Unschärfe und Ungenauigkeit werden in der Regel nicht getrennt. Dennoch haben wir es mit zwei unterschiedlichen Phänomenen der Wirklichkeit zu tun: Aussagen über die Wirklichkeit können „ungenau“ sein, in dem Sinne, daß sie nicht optimal getroffen werden. Daneben besteht eine der Definitionen eines Objektes in immanenter Unschärfe, die durch eine begrenzte Objektivierbarkeit und Parametrisierbarkeit der Objektdefinition bedingt ist. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit letzterem Aspekt, der immanenten Unschärfe räumlicher Daten, mit der in verschiedenen Anwendungsdisziplinen höchstens intuitiv umgegangen wird. Bei Nichtbeachtung von Genauigkeit, Erfassungs- und Zielmaßstab und räumlicher "Schärfe" von Daten resultieren allerdings in der Folge zusätzliche Fehler. Diese digitale Weiterbearbeitung von Daten ist insofern ein Spezifikum, da in analogen Auswertungen in der Regel weniger gravierende Folgefehler auftreten, da die Kombinierbarkeit, Abwandelbarkeit und maßstäbliche Variation technisch und methodisch begrenzt ist. Durch die digitale Bearbeitung von räumlichen Daten entstehen Probleme, bzw. müssen Regeln beachtet werden, um gravierende Fehlanwendungen zu vermeiden. In der englischsprachigen Fachliteratur existieren in spezifischem Kontext mit GIS einige konzeptuelle Arbeiten, die die Thematik der Unschärfe beleuchten. Im folgenden werden vielversprechende Ansätze in sehr knapper Form vorgestellt, um Potential und Probleme für Planungsaufgaben zu diskutieren und Planern die Notwendigkeit des bewußten Umgangs mit Unschärfe deutlich zu machen.

## 2. DIE NATUR DER UNSCHÄRFE VON DATEN UND DEREN HANDHABUNG

### 2.1. Warum sind Daten unscharf?

Warum sind Daten unscharf? Nun, Unschärfe hat viele Ursachen. Allgemein läßt sich feststellen: Die Ausprägung eines Sachverhalts ist räumlich nicht scharf und intersubjektiv eindeutig nachvollziehbar abzugrenzen. Dies trifft auf viele natürliche, aber auch anthropogene Phänomene zu.

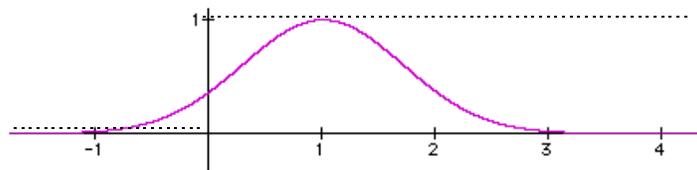


Abb. 1: Illustration eines Grundproblems anhand einer beliebigen Variablen: Während sich ihre Ausprägung bei einem Maximum von 1 nur asymptotisch dem Minimum von 0 (= X-Achse) nähert, müssen in der Regel binäre, diskrete Entscheidungen getroffen werden, ab welcher Ausprägung oder Intensität die Variable bestimmend ist und ab welcher Intensität sie als nicht mehr zutreffend gesehen wird.

In den letzten Jahren erlangte das Prinzip der Ökotonen - also des weichen Übergangs in der Natur - einen hohen Stellenwert in der Ökologie. Tatsächlich sind scharfe Sprünge als Grenzlinien zweier benachbarter natürlicher Ausschnitte der Erdoberfläche selten. Vielmehr gehen diese meist allmählich oder ineinander verzahnt und ausdünnend ineinander über. Dies gilt ebenso für soziale und wirtschaftliche Phänomene bzw. deren räumliche Intensität:

- Das Einzugsgebiet eines Supermarkts endet in der Regel nicht genau in einem gedachten Umkreis von 500 m oder in der halben Entfernung zu einem anderen Supermarkt. Auch hier haben wir es mit dem Problem einer künstlichen Diskretisierung zu tun.
- Ein Standort "Innenstadt" ist aus pragmatischen Gründen (auf dem Schreibtisch eines Planers) in der Form eines regelmäßigen oder unregelmäßigen Polygons abgegrenzt und grenzt damit unmittelbar an die folgende Randzone, wobei in der Realität ein allmählicher Übergang stattfindet, mit einer

unterschiedlich intensiven, aber tendenziellen Abnahme innerstädtischer Funktionen nach außen und umgekehrt mit der Zunahme komplementärer Funktionalität zum Zentrum hin.

- Auch die Begriffe Stadt und Land sind heute eher Relikte einer einstigen klaren Trennung von Lebensräumen, deren baulicher Ausprägung und von Funktionen. Eine realitätsnähere Betrachtung liefert hier das Konzept der Fuzzy Logik (vgl. Kap. 4): "eher urban", "eher ländlich". Städtische Lebensräume sind heute ausgefemt und erstrecken sich ohne scharfe Grenzen in die Landschaft. Bei einer "weicheren" Betrachtung und/oder der Berücksichtigung der Aussagegenauigkeit von diskretisierten Phänomenen sind daher solche Methoden keineswegs "ungenau", wohl aber unscharf, so wie unsere Einteilung der Wirklichkeit.
- Auch für die Darstellung von Schadstoffen oder Lärmbelastungen gilt: Isophonen sind in der Wirklichkeit nicht existierende Hilfsmittel eines kontinuierlichen Phänomens, des Schalls. Isolinien einer bestimmten Konzentration von Schadstoffen in der Luft stammen oft aus wenigen Einzelmesspunkten und eine unscharfe, weiche Abnahme von hohen Konzentrationen in der Nähe von Emittenten hin zu weniger belasteten Regionen ist sehr viel realitätsnäher als eine diskrete Darstellung in Form von Rasterfeldern oder Polygonen.

Diesen Betrachtungen aus Sicht der Daten steht gegenüber, daß Planung in der Regel scharf sein muß, d.h., daß letztlich rechtlich verbindliche Grenzen für Gebiete mit Beschränkungen oder Eignungen (Gewerbegebiet, Baugebiet etc.) ausgewiesen werden müssen. Im folgenden soll jedoch gezeigt werden, daß Möglichkeiten bestehen, beim Prozeß des Zusammenführens und bei der Analyse von Daten anderen als algebraischen Regeln zu folgen, um fließende Übergänge besser zu berücksichtigen. Die Ergebnisse werden am Ende dann oft wieder in diskrete räumliche Einheiten umgesetzt.

## 2.2. Exkurs: Lagefehler

Grundsätzlich lassen sich zwei Zugänge unterscheiden, die Genauigkeit digitaler Daten zu beurteilen:

1. Empirischer, meist stichprobenartiger Vergleich mit der Realität
1. Ableitung bzw. Abschätzung dieser Information aus dem Entstehungsprozeß der digitalen Daten.

Keiner der beiden Zugänge ist prinzipiell zu bevorzugen, erst eine zumindest punktuelle empirische Überprüfung einer abgeleiteten Genauigkeitsschätzung gibt zufriedenstellende Sicherheit.

Abweichungen von der „wahren“, erwarteten Lage werden als Lagefehler gehandhabt. Meist geht man von bestimmten Verteilungsannahmen bzgl. der Streuung von Lagefehlern aus, allein schon intuitiv wird man eine größere Häufigkeit kleinerer Fehler gegenüber selteneren großen Abweichungen erwarten. Da es auch keine grundsätzlichen Obergrenzen für Lagefehler gibt und Abweichungen in alle Richtungen möglich sind, handelt es sich um eine offene, symmetrische Verteilung. Dies legt die Annahme einer Normalverteilung (Poisson-Verteilung) nahe, die vor Verwendung der quantitativen Eigenschaften der Normalverteilung (z.B. „99% aller Fehler innerhalb von  $\pm 3$  Standardabweichungen“) durch einen statistischen Test zu überprüfen ist.

Für diese rigidere Vorgangsweise ist die Grundlage eines empirischen Vergleichs einer Stichprobe von Datenbasis-Punkten mit deren „wahrer“ Lage unentbehrlich. Die zweite Möglichkeit der Ermittlung bzw. der Annahme eines Lagefehlers ist die Abschätzung auf Grund von Ausgangsmaterial und Erfassungsprozeß:

1. **Kartographische Genauigkeit:** Ein Plan im Maßstab 1:10000 weist 0.5 mm Strichstärke auf, so daß zu erwartende Lagefehler etwa in der Größenordnung der Strichstärke liegen.
1. **Digitalisieren/Scannen:** Dieser Plan wird mit 200 dpi gescannt und mit einer minimalen Segmentlänge von 1 mm vektorisiert.
1. **Transformation/Weiterverarbeitung:** Bei der Transformation in das gewünschte Koordinatensystem auf der Grundlage von Paßpunkten wird ein RMS - Fehler von 3.35 m ausgewiesen

Diese und ggf. noch andere, für einen bestimmten Punkt als voneinander unabhängig betrachteten Fehler werden als pythagoräischer Term (Wurzel aus Summe der Einzelfehler-Quadrate) kombiniert und ergeben somit einen groben Schätzwert in Ableitung aus dem Prozeß der Datengewinnung. Diese Vorgangsweise ist

nur eine grobe Annäherung an die Wirklichkeit, ergibt jedoch eine für praktische Zwecke häufig ausreichende Abschätzung der Lagegenauigkeit.

### 2.3. Ein einfacher Ansatz zur räumlichen Berücksichtigung von Unschärfe

Die folgende Darstellung ist aus Gründen der Vereinfachung auf die Sicht des Vektormodells beschränkt. Im Idealfall gehen wir von einer zweidimensional symmetrischen, also zirkulären Gauß'schen Verteilung der Fehlervektoren aller Punkte in einer Datenbasis aus. Dies bedeutet mit anderen Worten, es herrscht keine Anisotropie, wie etwa ein größerer zu erwartender Fehler in Nord-Süd-Richtung. Die Annahme einer Normalverteilung mit einer Standardabweichung von z.B. 2.42 m besagt dann, daß ca. 68.3% aller Punkte innerhalb von  $\pm 1$ , ca. 95.5% innerhalb von  $\pm 2$  und 99.7% innerhalb von  $\pm 3$  Standardabweichungen liegen, oder aber 90% aller Punkte in einem Radius von ca.  $1.282 \cdot 2.42$ , also 3.1 m liegen.

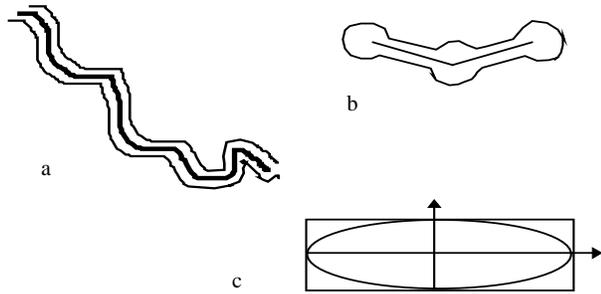


Abb 2: Konzepte der räumlichen Unschärfe

- a) Eine mögliche räumliche Umsetzung der Annahme der Normalverteilung der Lagefehler ist ein konstant breiter Korridor, in der Folge auch epsilon-Band genannt.
- b) Die rechte Darstellung geht auf die Vorstellung zurück, daß im Bereich der Vertices eine signifikantere Lagegenauigkeit herrscht als zwischen den Stützpunkten (nach DUTTON 1992).
- c) Beide Konzepte basieren auf einem Fehler-Ellipsenmodell entlang zweier unabhängiger Achsen.

Haben wir es mit Linien zu tun, kann (muß aber nicht!) die Annahme der Unabhängigkeit der Fehler aufeinanderfolgender Vertices entlang der Linie zutreffen. Die Verteilung der Lagefehler der Linie ist dann nicht als konstant breiter Korridor, sondern breiter an den Stützpunkten und schmaler dazwischen zu sehen (vgl. DUTTON 1992). Dieses Gedankenmodell trifft jedoch nur für einzelne Punkte zu. Sind die Vertices zufällig entlang einer Linie verteilt, so wird die 90% Lage-„Sicherheitszone“ wieder zu einem Korridor konstanter Breite. Dies entspricht auch einem der einfachsten und meistverwendeten Fehlermodelle für lineare Daten, dem des „Epsilon-Bandes“, häufig auch als „Perkal-Band“ bezeichnet. Der griechische Buchstabe  $\epsilon$  steht dabei für den Wert der halben Bandbreite eines Fehlerkorridors, in dem mit entsprechender (z.B. 90% iger) Wahrscheinlichkeit die „wahre“ Linie verläuft.

Für eine differenziertere Betrachtung der Fehlerverteilung innerhalb eines Linien-Datenbestandes ergeben sich mehrere Überlegungen: Größere Fehler an der „Kurveninnenseite“ gekrümmter Linien durch den Sehneneffekt bei Setzen digitalisierter Punkte direkt auf der Linie, generell größere Fehler bei gekrümmten Linien, Differenzierung nach Erfassungsmethode und kartographischer Wertigkeit usw. Derartige Zugänge sind jedoch immer sehr daten- und softwarespezifisch und werden hier nicht weiterverfolgt. Das einfache Fehlermodell des Epsilon-Bandes läßt sich auch auf Flächen anwenden (vgl. Abb. 3): Jeder Punkt einer Fläche liegt entweder außerhalb eines Fehlerbandes oder gehört (mit der angegebenen Wahrscheinlichkeit) „sicher“ der jeweiligen Fläche an. Punkte kommen entweder innerhalb der Bänder zu liegen und sind „eher“ der jeweiligen Fläche zugehörig oder liegen unmittelbar auf oder ganz nahe an der Trennlinie zwischen zwei Flächen, können also genauso gut der Fläche A wie der Fläche B angehören. Bezüglich der Trennlinie zwischen den Flächen A und B können wir also insgesamt 5 Fälle unterscheiden (STROBL 1996):

- „sicher in A“
- „eher in A“
- „ambivalent zwischen A und B“
- „eher in B“ und
- „sicher in B“

Betrachten wir das Ausmaß der jeweiligen Fläche: bei konstanter epsilon-Breite ist mit abnehmendem Flächenausmaß bzw. insbesondere bei schmalen Flächen mit einem zunehmendem Anteil „unsicherer“ Zonen zu rechnen. Je kleiner die Flächen sind, um so geringer wird der Anteil der „sicheren“ Kernzonen!



Abb. 3: Das Prinzip des epsilon-Bandes stark vereinfacht: Zufällig gewählte Punkte kommen entweder in der Fläche zu liegen, die sie repräsentieren, oder in einem epsilon-Band. Das Beispiel ist insofern vereinfacht, da es nur *ein* Objekt illustriert und damit das Problem sich überschneidender epsilon-Bänder verschiedener Objekte nicht darstellt.

Dieser Umstand ist sinnvollerweise bei der statistischen Aggregation und der Ausweisung von Flächensummen und Anteilen an der Gesamtfläche zu berücksichtigen und wirkt sich besonders stark bei punktuellen Phänomenen aus. Man kann meist davon ausgehen, daß bei zahlreichen kleinen Flächen sich die Lagefehler weitgehend mitteln und die Summe der Flächen stabil bleibt (wenn keine systematische Unter- oder Überschätzung aus dem Erfassungsprozeß vorliegt). Die Aussage der Zugehörigkeit eines bestimmten Punktes zu einer Kategorie mit typischerweise kleinflächigem Vorkommen ist jedoch unsicherer als bei großflächigem Auftreten.

Wenn wir die Annahme der normalverteilten Lagefehler mit dieser Epsilon-Band Handhabung vergleichen ist festzustellen, daß im Zuge der Binarisierung der Verteilungskurve (vgl. Abb. 1) auf einen großen Teil der Streuungsinformation (aus pragmatischen Gründen) verzichtet wird. Sind wir jedoch in der Lage, die Distanz zur Randlinie für jeden Punkt einer Fläche auszuweisen, so läßt sich für jeden Punkt die Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit zu Flächen angeben, wobei die Summe aller Zugehörigkeitswahrscheinlichkeiten den Wert 1 ergibt. Mit dem Wahrscheinlichkeitskonzept haben wir ein quantitatives Werkzeug in der Hand, das eine flächendeckende Beschreibung der Aussagesicherheit erlaubt, darüber hinaus jedoch noch deren Verfolgung über mehrere Verarbeitungsschritte hinweg gestattet. Dies ist genau der Ansatz der „fuzzy geometry“, im umfassenderen Rahmen der „fuzzy logic“, die sich in den letzten Jahren als attraktives, weil leistungsfähiges Instrument zur Verwaltung räumlicher variabler Sicherheit von Aussagen etabliert hat. Eine generelle Schwäche einer strikten Vektor-Perspektive ist jedoch die Überbewertung bzw. fälschliche Annahme einer den Objekten zugrundeliegenden Präzision. Eigentlich brauchen wir auch hier wiederum ein Werkzeug, das in der Lage ist, räumliche Kontinua zu repräsentieren - und seien es nur die statistischen mittleren Vektor-Abweichungen. Vieles spricht also für eine Repräsentation einer kontinuierlich verlaufenden Wirklichkeit durch ein Rasterdatenmodell.

#### 2.4. Räumliche Auflöser von Daten

Im Gegensatz zur Genauigkeit ist die räumliche Auflösung leichter bestimmbar. Im Falle von Rasterdaten ist die Lösung trivial, es handelt sich um die *kleinste* Zellengröße, bzw. den Stützpunkt Abstand bei einem Punkteraster. Bei Vektordaten sollten Informationen aus der Objektdefinition bzw. dem Erfassungsvorgang vorliegen. Ist dies nicht der Fall, gibt der kleinste Abstand zwischen irgendwelchen zwei Punkten im Datenbestand oder innerhalb einer Linie Auskunft über die Auflösung. Ansonsten sollte nach Möglichkeit die Einstellung des Minimalabstandes (oft als *'weed tolerance'* bezeichnet) bei der Erfassung bekannt sein, oder aber die Definition des kleinsten zu erfassenden Objektes bzw. der Abstand zwischen getrennt aufzunehmenden Objekten (STROBL 1996). Neben dem Minimalabstand spielt auch der Maximalabstand zwischen Punkten entlang gekrümmter Linien eine wesentliche Rolle. Sobald diese bei graphischer Ausgabe unnatürlich „eckig“ erscheinen, ist die Auflösungsgrenze erreicht.

Während die Lagegenauigkeit geometrischer Daten statistisch zu beschreiben ist, wird die Auflösung oft durch einen metrischen Schwellwert angegeben. Dieser nennt die kleinste als signifikant erachtete Distanz, die in etwa der graphischen Zeichengenauigkeit eines äquivalenten kartographischen Dokumentes entspricht, demnach maßstäblich umgesetzt zwischen 0.15 und 1.0 mm liegt. Nur in ganz wenigen Softwareprodukten können Objekte in verschiedenen Maßstäben unterschiedliche Generalisierungen aufweisen (Beispiel SMALLWORLD). Eine vereinfachte Alternative dazu liegt in der Spezifikation einer unteren Maßstabsschranke, über die hinaus ein Datenbestand nicht vergrößert dargestellt werden darf. Dies ist mittlerweile auch ohne Programmieraufwand in GIS- und Desktop-GIS-artigen Lösungen (Beispiel ArcView) möglich und als ein erster, aber bei weitem nicht ausreichender Schritt einer aktiven Nutzung von Metadaten zur Steuerung der Möglichkeiten eines Anwenders zur Vermeidung von Fehlanwendungen zu sehen.

### 3. DER DIGITALE ALLTAG: "EXAKTE" PLANUNG MIT UNSCHARFEN DATEN

#### 3.1. Grenzlinie ist nicht gleich Grenzlinie

Während also viele räumliche Objekte, mit denen sich Planung beschäftigt, in ihrem Wesen entweder unscharf sind, fließend ineinander übergehen, oft nur subjektiv abzugrenzen sind, zusätzlich auch ungenau erfaßt werden, ist die tägliche Praxis des Umgangs mit Daten völlig anders: Im Normalfall ist das Ergebnis einer auch noch so komplexen Analyse und/oder Bewertung eine Karte mit diskret abgegrenzten Flächen. Dabei werden häufig die unterschiedlichen Genauigkeiten von Datenschichten übersehen. Im folgenden wird an einem kleinen Beispiel an nur einer Datenschicht (also noch ohne die Problematik der Kombination von Daten) illustriert, welche große Unterschiede räumlicher Lagegenauigkeit bestehen.

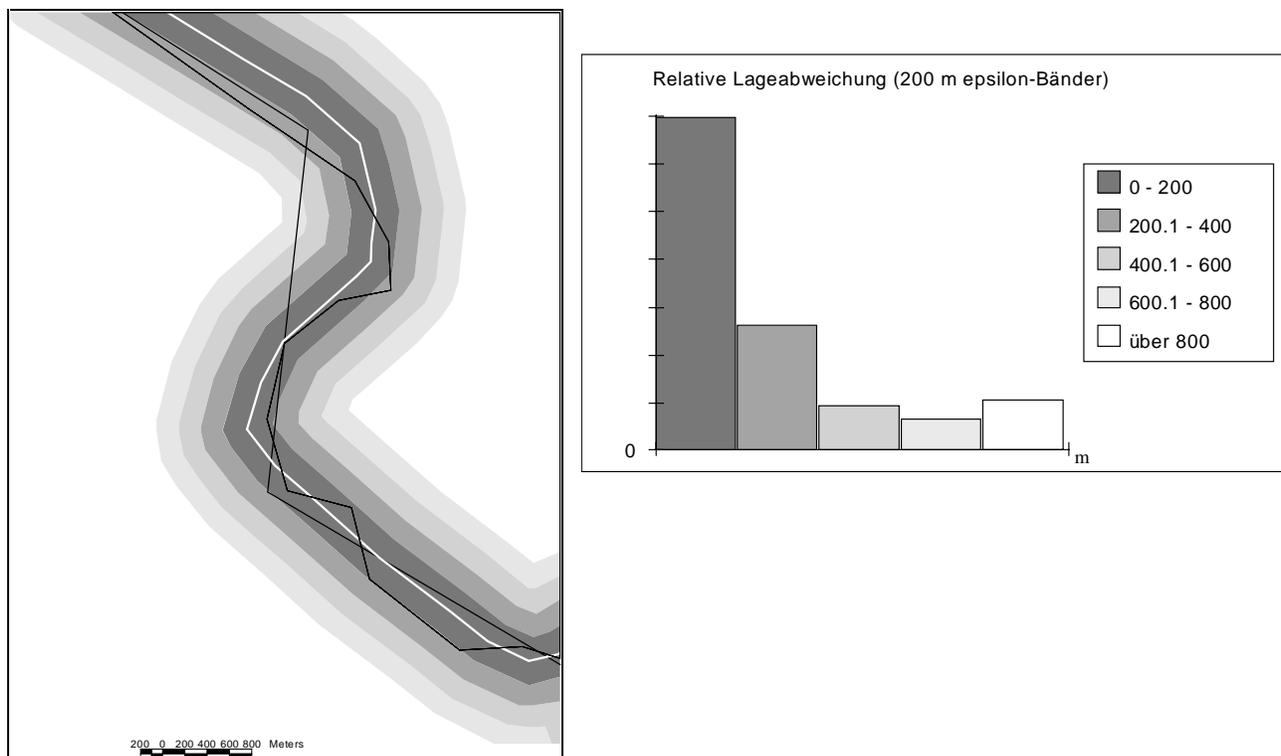


Abb. 4 Bei den drei Liniensignaturen handelt es sich um ein Stück der Außengrenze Deutschlands aus drei verschiedenen Datenquellen. Die geradeste Linie (mit den wenigsten Vertices, schwarz) stammt aus einem Übersichtsdatenbestand eines Datenproviders und wurde aus einer Übersichtskarte 1:500000 gewonnen. Die beiden anderen Linien basieren auf einer 1:50000 Kartengrundlage (schwarze, dünne Linie) bzw. auf den 1:25000 ATKIS Daten (weiß). Unter der vereinfachenden Annahme, daß die Linien der 1:25000er Karte der wahren Lage gleich zu setzen sind, ist hier die Abweichung in Form von epsilon-Bändern entlang der "wahren" Grenze in einer 200 m-Abstufung dargestellt. Das äußere, hellste Band, das in einem Teilstück geschnitten wird, deckt den Bereich von 600 bis 800 m Entfernung von der "wahren" Grenze, also der aus der TK25 stammenden Linie ab. Im Diagramm ist für einen größeren Ausschnitt als links dargestellt (ca. 80 km Grenzlinie) diese Abweichung quantifiziert. Nur etwas über 60% kommt in dem innersten epsilon-Band (0 bis 200 m) zu liegen und etwa 8% dieser Fläche befindet sich über 800 m von der Referenzlinie entfernt.

Für den in Abb. 4 ausschnittsweise dargestellten Abschnitt von 80 km Grenzlänge ergibt sich ein mittlerer Lagefehler von ca. 230 m, was etwa dem Dreifachen des theoretisch zu erwartenden (minimalen) Lagefehler entspricht (vgl. Kap 3.2). Dieser Wert ist nicht ungewöhnlich hoch und ist auch nicht bedenklich, solange man sich bei Auswertungen nicht in falsche Maßstäbe begibt, indem man nun „hineinzoomt“, was bei analogen Karten schwerlich möglich ist.

Diskrete Werkzeuge zur Ermittlung eines Lagefehlers, der ja häufig durch z.T. subjektives Diskretisieren von Phänomenen der Erdoberfläche (nicht bei Staatsgrenzen, diese sind in ihrem Wesen diskret) entsteht, stoßen an ihre Grenzen. Epsilon-Bänder können zwar auch fein gewählt werden, so daß eine sinnvolle Klassendarstellung eines Lagefehlers möglich ist, zielführender und flexibler ist jedoch der Rasteransatz. Mit Hilfe einer sehr feinen Aufrasterung - um möglichst wenig Lageinformation durch das Aufrastern zu verlieren - wurden für die beiden zuvor bereits verglichenen Datenbestände der Staatsgrenze Deutschlands (1:25000 und 1:500000) Teilbereiche an verschiedenen Stellen herausgeschnitten und aufrastert. Für jede Rasterzelle kann so der exakte Lageversatz zu der als „wahr“ angenommenen 1:25000 Datenschicht ermittelt und statistisch dargestellt werden. Warum dies nicht auf einmal mit dem gesamten Datenbestand Deutschlands durchgeführt wurde, verdeutlicht folgendes Rechenbeispiel: Bei einer Rastergröße von 10 \* 10 m besteht bereits ein quadratischer Ausschnitt von 100 km<sup>2</sup> (10 \* 10 km) aus 1 Million Rasterzellen, das Gesamtgebiet Deutschlands etwa aus 6,3 Milliarden Rasterzellen. Damit können leistungsstarke Workstations zwar im Prinzip umgehen, das Experimentieren mit verschiedenen Ansätzen ist damit jedoch mühsam.

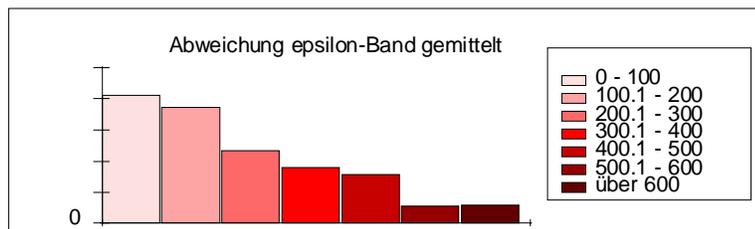


Abb. 5: Ergebnis der Abweichung der in Abb. 4 gegenübergestellten Datenbestände gemittelt für 6 verschiedene Ausschnitte Deutschlands, berechnet über die Entfernungsberechnung zweier Raster und zur Visualisierung in 100 m Schritte aggregiert. Die Verteilung kann hier als so stabil gelten, daß zusätzliche Ausschnitte keine grundlegenden Veränderungen mehr bringen. Auch hier liegen etwa 60% der 1:500000er Linien bzw. deren Lauflänge nicht mehr als 200 m von der 1:25000er Linie entfernt. Der Anteil der sehr hohen Abweichungen (über 600 m) ist jedoch gegenüber dem Einzelausschnitt von Abb. 4 deutlich gesunken auf etwa 5%.

### 3.2. „Beliebiger“ Maßstab durch GIS - Gefahr der Fehlanwendung

Digitale Geodatenbestände sind keinesfalls maßstabslos bzw. in beliebigen Maßstäben einsetzbar. Wie das vorangegangene Beispiel verdeutlicht, besteht eine sehr große Gefahr der Fehlanwendung, wenn z.B. eine digitale Geologische Karte im Maßstab 1:200000 als Vektordatenschicht vorliegt und mit einer aus einer 1:10000er Kartierung stammenden Biotoptypenkarte verschnitten wird. Eine solche Vorgangsweise ist schlicht unzulässig! Folgendes Rechenbeispiel soll dies illustrieren:

In der Kartographie gilt als größtmögliche Lagegenauigkeit eines Kartenpunktes die größtmögliche Kartier- und Zeichengenauigkeit. Für deren mittleren Fehler (Standardabweichung) wird in der Literatur ein Betrag von  $\pm 0.15$  mm angenommen (HAKE 1982). Dies ist ein theoretischer Wert (nur aus der Zeichengenauigkeit, ohne kartographische Effekte wie Verdrängung, Verschiebung, Generalisierung, Betonung usw. zu berücksichtigen). Dabei ergeben sich die in Tab. 1 enthaltenen (theoretischen) Werte. Aus umgekehrter Sicht („Was kann ich aus einer Karte noch herauslesen bzw. messen“) ergeben sich jedoch ganz andere Werte hinsichtlich Auflösung und Erkennbarkeit (Unterscheidung in *resolution* und *detection* nach TOBLER 1988):

Maßstab	größtmögliche kartographische Lagegenauigkeit	„Auflösung“ einer Punktsignatur mit 0.5 mm	„Erkennbarkeit“ (detection) einer Punktsignatur mit 0.5 mm
1:5000	0.8 m	2.5 m	5 m
1:10000	1.9 m	5 m	10 m
1:25000	3.8 m	12.5 m	25 m
1:100000	15 m	50 m	100 m
1:200000	30 m	100 m	200 m
1:500000	75 m	250 m	500 m

Die tatsächlichen Lagefehler sind jedoch oft ein Mehrfaches dieser Werte und zwar mit kleiner werdendem Maßstab vor allem in Folge der Generalisierung. Da wir bei einer Geologischen Karte kaum in der Lage sein werden, den wahren Lagefehler anhand von Vergleichen zu ermitteln, muß eine theoretische Überlegung bzw. der Vergleich mit einer anderen Datenschicht - den Staatsgrenzen - herhalten. Wenn wir ein ähnliches Verhältnis der theoretischen, größtmöglichen Lagegenauigkeit mit einer realen Fehlermittlung als im vorigen Beispiel der Staatsgrenze erwarten (1:3), dann müssen wir bei der 1:200000 Geologischen Karte mit 90 m rechnen. Realistischer erscheint jedoch ein Verhältnis von 1:5, so daß wir auf eine Lagegenauigkeit von 150 m kämen (auch dies ist eine optimistische Annahme). Um dieses Rechenbeispiel abzuschließen: Legen Sie einmal einen Streifen mit 150m Radius (300 m Breite) über eine Biotopkartierung 1:10000. Diese Übung könnte der Forderung nach sorgsamem Umgang mit digitalen Daten Nachdruck verleihen.

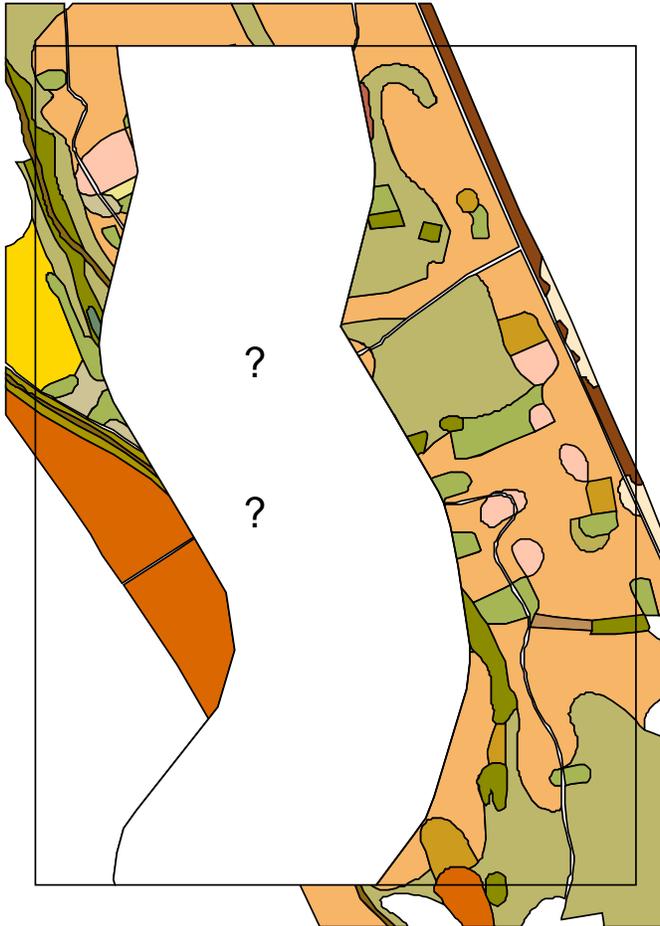


Abb: 6: Epsilon-Band mit 150 m Radius über eine Biotopkartierung 1:10000 gelegt. Diese Abbildung soll das zuvor beschriebene Maßstabsproblem der Kombination unterschiedlicher (und eigentlich nicht kombinierbarer) Daten illustrieren und Planern verdeutlichen, warum einerseits Methodenwissen benötigt wird, das über das reine Bedienen von GIS als Standard-PC Software hinausgeht, und andererseits in der Geoinformatik nach Methoden geforscht wird, unter Nutzung von Metainformationen Steuerungsmechanismen einzubauen, die einige der klassischen Fehlanwendungen verhindern sollen.

#### 4. GIS: MÖGLICHKEITEN DER MODELLIERUNG VON UNSCHÄRFE

Wenn also allen Daten eine gewisse Lagegenauigkeit oder -ungenauigkeit zu eigen ist und zusätzlich durch die evtl. subjektive inhaltliche Abgrenzung erhöht wird, benötigen wir Verfahren, die diese Ungenauigkeiten und Unschärfen berücksichtigen. Im folgenden sind wichtige Ansätze vorgestellt, die versuchen, dieser Ungenauigkeit gerecht zu werden bzw. diese zu modellieren. Letzteres ist eine wesentliche Einschränkung: Modellieren bedeutet, Zusammenhänge der Wirklichkeit vereinfacht, verkürzt und auf das wesentliche beschränkt unter bestimmten Annahmen abzubilden.

Dies ist der Prozeß, den wir ständig aktiv ausführen und dem wir ständig unterliegen! Wir arbeiten z.B. mit Karten und diese sind per definitionem "vereinfachte, verebnete, maßstabsgerecht verkleinerte ... Darstellungen der Wirklichkeit". Wenn wir eine Karte digitalisieren, bringen wir eine zusätzliche räumliche Ungenauigkeit mit ins Spiel. Diese läßt sich je nach Ausgangsmaßstab und Methode noch abschätzen (vgl. Kap. 2.2). Doch wenn wir in GIS zwei auf diese Weise gewonnene Datenschichten miteinander kombinieren, so kombinieren wir damit zwei "vereinfachte, verebnete, maßstabsgerecht verkleinerte .....". Dabei müssen wir eigentlich das Modell kennen, das hinter der Erstellung steht. Um diesen Gedanken weiter

zu spinnen: Bei einer Verknüpfung von drei oder vier Datenschichten betreiben wir eigentlich (unbewußt) eine derart komplexe Modellierung, daß die Ausformulierung eines Modells mit allen einschränkenden Restriktionen meist schwer auf einer DIN A4 Seite Platz finden würde. Vor allem aber sind dazu Kenntnisse über die strukturellen Zusammenhänge der verschiedenen Aggregationsebenen unerlässlich. SPANDAU (1988) leitet daraus beispielsweise ab, daß die zwischen den verschiedenen Ebenen bestehenden strukturellen Verknüpfungen auch bei ausreichender Verfügbarkeit der Daten nicht auf rein mathematischem Weg hergestellt oder abgeleitet werden können, sondern der gezielten interpretierenden Auswahl durch den denkenden, gebietserfahrenen Menschen bedürfen.

Es liegt also einerseits in der Natur der Daten, daß sie unscharf oder ungenau hinsichtlich der gewählten Parametrisierung oder Perspektive sind, und andererseits an dem Schritt der Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten. Geographische Informationssysteme können diese Daten nicht genauer machen, als diese sind. Sie erlauben aber in Kombination mit Methoden der Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung diese Unschärfe aufzufinden, in ihrer Intensität abzuschätzen und bei komplexeren Verknüpfungen Unschärfe zu modellieren und unscharfe Entscheidungssysteme einzusetzen.

**Bayes Theorem** oder Bayesian Statistik ist ein alternativer Ansatz gegenüber Häufigkeits- und Verteilungsbasierter Statistik (BERNARDO and SMITH 1994, ROBERT 1994. Bayes Theorem modelliert die Unsicherheit eines Parameters mit einer apriori-Häufigkeit. Diese ist entweder bekannt oder wird vorausgesetzt und kann mit Stichproben zusammen zu einer posteriori-Verteilung kombiniert werden. Betrachten wir jedoch die Planungsaufgaben. Gegeben ist meist ein klar abgegrenzter Untersuchungsraum mit einer endlichen Anzahl an räumlichen Objekten, die unscharf, meist nicht normalverteilt und auch nicht räumlich normalverteilt oder ausschließlich einem zu erklärenden räumlichen Trend folgen. Bei einer Klassifizierung (z.B. Landnutzungsklassen) können die Ergebnisse mit subjektiven, aus einem Vorwissen stammenden Gewichten besser sein, als mit einem klassischen statistischen Ansatz. Dies gilt zunehmend auch für **künstliche Neuronale Netze** und die Kombination von neuronalen Netzen mit Fuzzy Logik zu neuronalen Fuzzy Netzen (Feuring 1994). Abgesehen davon, daß diese Ansätze „modern“ klingen, versprechen sie in der Zukunft einen großen Fortschritt auch in GIS-Anwendungen. Derzeit gibt es jedoch noch wenige praktische Beispiele des erfolgreichen Einsatzes. Der Schwerpunkt räumlicher Anwendungen liegt bisher in der Klassifikation von Fernerkundungsdaten (CIVCO 1993, FISCHER et al. 1995) und insgesamt mehr - von der Verarbeitungsdomäne her gesehen - im Bereich von Rasterdaten.

### **Fuzzy Logik: Einbeziehung von unscharfen Regeln**

Fuzzy-Logik ist eine mathematische Theorie, mit der die Unschärfe menschlicher Denkweise und Sprache in Form von Zugehörigkeitsfunktionen modelliert werden kann. Mit ihr lassen sich menschliche Kognitionsprozesse wie Denken besser beschreiben als mit herkömmlichen Methoden. Vor allem die Verbindung von Fuzzy-Set-Theorie mit Neuronalen Netzen eröffnet eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, etwa die optimierte Steuerung neuronaler Netze mit Hilfe eines Fuzzy-Controllers.

Anders als die meisten herkömmlichen Kontrollmechanismen sind kognitive Kontrollmechanismen nicht modellbasiert in der Steuerung komplexer und ungenauer Daten. Was heißt das? Betrachten wir ein einfaches Beispiel (nach FEURING 1994):

Ein Mensch kann ein Fahrrad fahren, ohne Kenntnis von Differentialgleichungen zu haben. Es existieren in der Regel keine mathematischen Formulierungen derartiger kognitiver Steuermechanismen. Fuzzy-Regler sind Systeme, mit denen man solche Prozesse einfacher beschreiben kann, da intuitiv bekannte Regeln zur Steuerung verwandt werden und somit keine explizite mathematische Modellierung des Prozesses verlangt wird. Fuzzy-Logik bietet also die Möglichkeit mittels linguistischer Terme auch sehr komplexe mathematische Modelle leicht und verständlich zu beschreiben.

Fuzzy-Set-Theorie ist eine Erweiterung der klassischen Logik, die ihre Ursprünge in der alten griechischen Philosophie (Aristoteles) findet. Platon legte die Grundlage für die heutige Fuzzy-Logik, als er schrieb, daß es eine dritte Region zwischen wahr und falsch geben müßte. Moderne Philosophen nahmen dieses Argument wieder auf (Hegel, Marx, Engels).

Es war Lukasiewicz, der als erster eine systematische Alternative zu Aristoteles' zweiwertiger Logik einführte. Anfang dieses Jahrhunderts beschrieb er eine dreiwertige Logik. Dabei nannte er den dritten Wert

„possible“ und gab ihm einen Wert zwischen wahr und falsch. Später entwickelte er vier- und fünfwertige Logiken. Der Bezug zur Fuzzy-Set-Theorie ergibt sich, da er auch die Möglichkeit nannte, eine unendlichwertige Logik einzuführen. Lukasiewicz bevorzugte allerdings die vierwertige Logik, da diese seiner Meinung nach am nächsten an der zweiwertigen Logik des Aristoteles lag.

1965 veröffentlichte L. ZADEH den grundlegenden Artikel zu Fuzzy-Sets, in dem er die Mathematik der unscharfen Mengenlehre beschrieb. In der klassischen Mengenlehre gehört ein Element zu einer Menge oder aber es gehört nicht dazu. Die Fuzzy-Set-Theorie verallgemeinert nun dieses Konzept. Es sei  $X$  eine Grundmenge. Eine unscharfe Menge oder Fuzzy-Menge  $A$  einer Menge  $X$  ist eine Menge von geordneten Paaren

$$A = \{(x; \mu_A(x)) | x \in X\}:$$

Dabei ist  $\mu_A(x)$  eine Funktion mit  $\mu_A(x) | X \rightarrow [0; 1]$ , die den Grad angibt, zu dem ein Element  $x \in X$  in der Menge  $A$  enthalten ist. Diese Funktion wird Zugehörigkeitsfunktion genannt.

ZADEH führte für eine endliche Fuzzy-Menge  $A$  über einer Grundmenge  $X = \{x_1; \dots; x_n\}$  folgende Notation ein

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)x_i$$

Ein Element  $x$  gehört zu einer Fuzzy-Menge  $A$ , in Zeichen  $x \in A$ , wenn  $\mu_A(x) > 0$  gilt.

Dabei wird durch  $\mu_A(x)$  der Zugehörigkeitsgrad von  $x$  in  $A$  angegeben. Die Zugehörigkeitsfunktion stellt somit eine natürliche Verallgemeinerung der charakteristischen Funktion der klassischen Mengenlehre von Werten in  $\{0; 1\}$  auf das Intervall  $[0; 1]$  dar. Hier ist anzumerken, daß der Zugehörigkeitsgrad eines Elements  $x$  zu einer Fuzzy-Menge  $A$  nicht mit der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Element  $x$  zu einer Menge  $A$  gehört, verwechselt werden darf. Mit Hilfe der Fuzzy-Set-Theorie wird eine andere Art der Unsicherheit beschrieben (vgl. ZIMMERMANN 1993).

Ein allgemein bekannte Definition des Einsatzes von Fuzzy-Regeln besagt, daß diese überall dort zum Einsatz kommen, wo das zur Problemlösung notwendige Wissen nur sehr ungenau ist, oder durch die Komplexität des betrachteten Systems bedingt, unstrukturiert vorliegt (ZIMMERMANN 1993, MAYER et al. 1993) Konsequenterweise müßten demnach eigentlich bei fast allen Entscheidungsprozessen, in denen räumlich relevante Fragen berührt werden, solche Verfahren eingesetzt werden. Dies ist bekanntlich keineswegs der Fall. Es gibt offensichtlich viele Gründe, die bisher gegen einen Einsatz sprachen oder die Ursache ist schlicht die fehlende Kenntnis dieses Ansatzes. Die Theorie baut auf einem erweiterten Mengenkonzept auf, wobei einer Basismenge von Objekten sogenannte Zugehörigkeitsfunktionswerte (Fuzzy Membership Funktion Value) zugeordnet werden. Als Objekte sind in GIS-Modellen Punkt-, Linien- und Flächenelemente und als Sachverhalte deren Variablenwerte zu verstehen. Für eine Menge  $X = \{x\}$  ist das Fuzzy-set  $A$  eine Menge mit geordneten Paaren mit

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \text{ mit } x \in X\} \text{ mit der Zugehörigkeitsfunktion } \mu_A(x) \text{ .. von } x \text{ in der Menge } A \text{ mit } \mu_A(x) \in [0,1]$$

Vereinfacht ausgedrückt bedeutet das, daß für eine Variable  $X$  eine Zugehörigkeitsfunktion definiert wird, deren Ausprägung zwischen 0 und 1 liegt. Im Gegensatz zur Wahrscheinlichkeitstheorie müssen sich nun die Zugehörigkeiten zu verschiedenen Mengen nicht auf 1 ergänzen, und es herrscht eine ordinale Skala, in dem ein Wert von 0.8 mehr ist als 0.7, aber nicht doppelt so viel wie 0.4.

Beispiel einer unscharfen Menge mit einem Optimum beim Wert 500

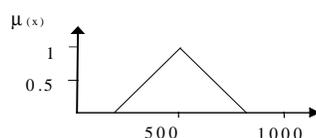
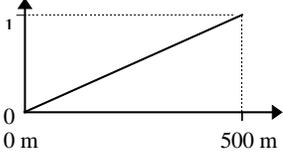
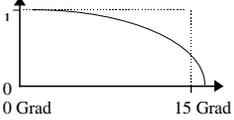
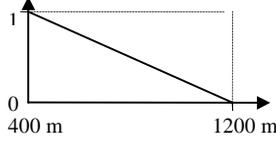
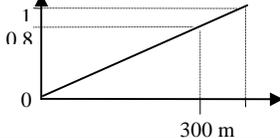


Abb. 7: Beispiel einer unscharfen Menge einer hypothetischen Variablen, deren Ausprägung ab dem Wert 200 kontinuierlich steigend bewertet wird, beim Wert 500 ihr Maximum (1) erreicht und bis zum Wert 800 stetig fällt. Diese simple, symmetrische Verteilung steht für eine Variable, die - aus welchen Gründen auch immer - ein einziges bestimmtes Optimum aufweist.

Der Ansatz der Fuzzy-Logik kann hier nur in der gebotenen Kürze dargestellt werden. Es sei auf zahlreiche Lehrbücher verwiesen. Der Grundgedanke soll jedoch Planern näher gebracht werden: Konzepte wie „eher urban“, „eher ländlich“, „gut erreichbar“, „schlecht erreichbar“, „ökologisch wertvoll“, „ökologisch wenig wertvoll“ müssen in unserer Gedankenwelt Platz finden. Wenn aber Planung letztlich „hart“ sein muß, d.h.,

daß rechtlich verbindliche Pläne mit scharfen Grenzen entlang von Straßen, Parzellen, Baublöcken oder Gemeindegrenzen geschaffen werden müssen, wie können dann „weiche Konzepte“ eingehen. Dazu ein Gegenargument: In der Steuerungstechnik ist fuzzy control nicht mehr weg zu denken. Wenn also mechanische Produktionsprozesse, die auch mit festen Eckwerten versehen sind, mit weichen Regeln ablaufen können, wieso sollte dann die Ausweisung von Flächen, die für eine Mülldeponie geeignet sind (nur um ein Beispiel zu nennen) nicht auch so funktionieren. Der Output eines fuzzy Entscheidungsprozesses kann diskretisiert („defuzzifiziert“) werden und dennoch greifen beim Zusammenführen mehrerer Variablen und deren räumlicher Ausprägung weiche Regeln.

Im folgenden ein Vergleich von scharfen (diskrete) Regeln und Fuzzy-Ansätzen am Beispiel einer fiktiven Mülldeponie:

	Harte Kriterien (vor allem auf Grund gesetzlicher Festlegungen)	Kontinua, die unscharfe Definitionen enthalten
Abstand zu Siedlungen	z.B. 300 m Abstand (von Bebauung oder gewidmeten Bauland?):	Beispiel lineare Funktion von 100 bis 500 m 
Hangneigung	weniger als 15°	Beispiel einer nicht-linearen Abnahme der Eignung gegen einen fixen Grenzwert hin. 
absolute Höhenlage	nicht über 1200 m gelegen	
Erreichbarkeit	bestehende Straße höchstens 300 m entfernt	
Wasserschutzgebiete	Ausschlußkriterium	Ausschlußkriterium (kein Unterschied)

Dies sind nur einige (unvollständige) Kriterien zur flächenhaften Bewertung der (grundsätzlichen) Eignung als Deponiestandort. Die Flexibilität der Regeln wird hier angedeutet. Das Kriterium Hangneigung könnte ein gutes Beispiel für ein nicht-lineares Kriterium sein, wenn aus fachlicher Sicht z.B. geringe Hangneigungen keine negativen Auswirkungen auf die Standortseignung haben, gegen einen fixen Grenzwert hin (hier mit 15 Grad angenommen) aber die Eignung stark nachläßt.

## 5. POTENTIAL VON GIS IN DER PLANUNG

### 5.1. Ökologisch orientierte Planung mit GIS?

Der Begriff *ökologisch orientierte Planung* wird hier verwendet, weil unterstellt wird, daß eine sektorale Planung, die eine oder wenige Komponenten berücksichtigt, heute in vielen Bereichen einer hochgradig genutzten Landschaft in Mitteleuropa kaum ohne konkurrierende Nutzungsansprüche und vielfältige Wechselwirkungen umgesetzt werden kann. Ohne auf eine Theoriediskussion eingehen zu können, seien einige spezifische Charakteristika von GIS hervorgehoben, die es zu einem unverzichtbaren Planungswerkzeug werden lassen. BIERHALS (1978) hat in seinen Anmerkungen zum ökologischen Datenbedarf für die Landschaftsplanung im Hinblick auf die Konzeption einer Landschaftsdatenbank drei Fragen herausgeschält, die von der Landschaftsplanung beantwortet werden müssen:

- Was ist wertvoll, schützenswert, erhaltenswürdig; was ist als Schutzobjekt oder natürliche Ressource zu sichern?
- Was würde geschehen, wenn ... (ökologische Wirkungsanalyse)
- Welche Lösungsmöglichkeiten gibt es zur Sicherung wertvoller, schutzwürdiger Landschaft und zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Belastungen oder Konflikten?

Diese Fragestellungen sind heute für viele Planungsbereiche relevant. Die meisten sektoralen und erst recht übergreifenden Planungen berühren ökologische Interessen. Eingriffe bleiben in ihren Umweltauswirkungen nicht auf die unmittelbar von den Veränderungen betroffenen Flächen beschränkt. Daher ist nicht nur die Erhebung gezielter Information wichtig, sondern auch die Verwaltung von Daten hinsichtlich einer Mehrfachverwendung. Trotz einer Vielzahl bereits in verschiedenen Bereichen erhobener und in unterschiedlichen Datenbanksystemen abgespeicherter Grundlageninformation besteht in der Praxis ein Manko an effizienten Informationsmöglichkeiten, z. T. auch über die Informationen selbst (Metainformation).

Speziell in der Landschaftsplanung, aber auch in jeglicher Planung, die Umweltinteressen berührt (also praktisch jeder Planung), fallen große Datenmengen an. Die systematische Erhebung aller planungsrelevanter Parameter erfordert daher eine Integration von Einzelergebnissen, die oft in interdisziplinärer Zusammenarbeit von unterschiedlichen Personen oder Institutionen erhoben werden. Der EDV-Einsatz als solcher muß daher keineswegs mehr gerechtfertigt werden. Der Einsatz Geographischer Informationssysteme ist dagegen (noch) keine Selbstverständlichkeit. Die nach wie vor relativ hohe Einstiegshürde hinsichtlich Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter, sowie die Kosten, erfordern meist explizit auf das jeweilige Projekt zugeschnittene Argumentationsstrategien zu einer Verwirklichung.

Generell werden durch den GIS-Einsatz die methodischen Probleme nicht weniger. Andererseits vergrößert sich das Repertoire an analytisch-deskriptiven, vor allem aber an quantitativ-analytischen Möglichkeiten im Sinne des Generierens neuer Information (BLASCHKE 1996b). Hinsichtlich des GIS-Einsatzes in der praktischen Planung ergeben sich daraus vielfältige Anwendungsbereiche, vor allem, wenn qualitative mit quantitativ-analytischen Verfahren kombiniert werden.

Wir benötigen bei ständig zunehmenden Ressourcendruck, Informations- und Datenfülle und steigenden Komplexitätsgrad von Umweltproblemen, Raumplanungskonflikten und Mehrfachnutzungen bessere Entscheidungsgrundlagen. Geographische Informationssysteme können in diesem Zusammenhang nicht mehr sein als Werkzeuge, sie stellen selbst keineswegs Lösungen dar. Die Rolle des GIS kann soweit eingeschränkt werden, daß Ergebnisse bewährter Arbeitsmethoden von Fachdisziplinen als input dienen, diese mit Hilfe statistischer und analytischer Verfahren verknüpft werden, um daraus neue Information abzuleiten, Hypothesen zu überprüfen und Ergebnisse zu visualisieren, während die Regeln der Inwertsetzung dieser Daten durch Fachwissenschaftler definiert werden. Den meisten Auswertungs- und Planungsschritten ist irgendeine Form von (subjektiver) Bewertung immanent. GIS kann hierfür als ein mächtiges Instrument angesehen werden, das jedoch Gefahren von Fehlanwendungen birgt (BLASCHKE 1996a, 1996b).

Auch komplexe Betrachtungen bestehender Tendenzen, also unscharfe und/oder indirekte Analysen trotz limitierender Rahmenbedingungen (zeitlich, finanziell, personell), können mit quantitativ-deskriptiven, aber auch mit quantitativ-analytisch generierten Daten kombiniert werden. Beide Vorgangsweisen schließen sich nicht aus sondern ergänzen sich vielmehr (BLASCHKE 1996b).

## 5.2. Fuzzy sets: Der "natürlichere" Weg?

Der kurz vorgestellte Fuzzy-Ansatz wäre prinzipiell geeignet, eine heuristische Abbildung menschlichen Wissens zur Problemlösung zu bieten (ZIMMERMANN 1993). Die Verbindung mit GIS liegt eigentlich auf der Hand. BURROUGH (1989, 1992) stellt sogar fest, daß fuzzy sets immer geeignete Verfahren sind, wenn wir es mit mehrschichtigen, unsicheren und uneindeutigen Sachverhalten empirischer Phänomene zu tun haben. Warum ist dieser Ansatz dann nicht weiter verbreitet? Er erfordert offensichtlich doch eine völlig andere Herangehensweise an Zusammenhänge, als wir das in unserem Kulturkreis gewöhnt sind. Ohne so vermessen zu sein, diesen Weg in der Planungspraxis umgehend zu fordern, sollte eine gedankliche

Auseinandersetzung mit diesem Konzept und vor allem im Vergleich dazu mit dem gewohnten mit Information und Entscheidung stattfinden. Vor allem muß im Zeitalter der Informationsgesellschaft äußerst kritisch mit Genauigkeiten von Daten umgegangen werden. Hier wird nur auf den *räumlichen Bezug* von Daten eingegangen, der bekanntlich nur *eine* - wenn auch elementare - Ebene von Metainformation räumlicher Daten darstellt.

### 5.3. Chronische Unterforderung von GIS?

In vielen Anwendungsbereichen ist der GIS-Einsatz weitgehend "normal" geworden. Vorteile der breiten gesellschaftlichen Nutzung sind Ursache wie auch Auswirkung der zunehmend vorhandenen Datengrundlagen. Analyseergebnisse vieler GIS-nutzender Anwendungsfächer sowie beeindruckende kartographische Dokumente können rasch und effizient erstellt werden (DOLLINGER und STROBL 1995). Dennoch gibt es verschiedene Bereiche, in denen der GIS-Einsatz keineswegs selbstverständlich ist bzw. wo er weit hinter den Möglichkeiten zurückbleibt. Dazu zählen beispielsweise Ökologie, Naturschutz und Landschaftspflege (BLASCHKE 1995, BLASCHKE 1996a, VOGEL und BLASCHKE 1996), aber auch die Raumplanung im deutschsprachigen Raum. In einigen Bereichen der Planung wird GIS durchaus seit einigen Jahren eingesetzt, vor allem die Landesplanung nutzt in praktisch allen deutschen und österreichischen Bundesländern GIS, die analytischen und prognostischen Kapazitäten werden aber nach Ansicht des Autors zu wenig ausgeschöpft. Diese "chronische methodisch-konzeptuelle Unterforderung" von GIS muß nicht nur als Geldverschwendung angesehen werden, angesichts dringender Umweltprobleme, Ressourcenverknappung und steigender Nutzungskonflikte erscheint ein oberflächlicher GIS-Einsatz geradezu verantwortungslos.

### LITERATUR

- BERNARDO, J.M. and SMITH, A. F.M. (1994); Bayesian theory, Wiley, Chichester.
- BIERHALS, E. (1978): Ökologischer Datenbedarf für die Landschaftsplanung - Anmerkungen zur Konzeption einer Landschaftsdatenbank. In: Arbeitsgemeinschaft der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 13, 1-19.
- BLASCHKE, T. (1995): Analyse und Bewertung eines Ökosystems mit GIS: Methodische Untersuchungen am Beispiel der bayerischen Salzachauen. Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg, Salzburg.
- BLASCHKE, T. (1996a): GIS-Einsatz in der Analyse und Bewertung. Grundsätzliche Überlegungen und Fallstudie an der Salzach. In: Naturschutz und Landschaftspflege 28 (8) 1996, 243-249.
- BLASCHKE, T. (1996b): Analyse und Bewertung mit GIS in Naturschutz und ökologisch orientierter Planung: Integration indikatorischer und quantitativer Verfahren. In: SIR Mitteilungen und Berichte 1-4/96, 37-55.
- CIVCO, D. (1993): Artificial neural networks for land-cover classifications and mapping. In: Int. Journal of Geographical Information Systems, 7(2), 173-186.
- BURROUGH, P. (1986): Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford.
- BURROUGH, P. (1989): Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. In: Journal of Science 40, 477-492.
- DOLLINGER, F. und STROBL, J. (1995): Vorwort. In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VII, Salzburger Geographische Materialien Heft 22, Salzburg.
- DUTTON, G. (1992): Handling positional uncertainty in spatial databases. Proceedings of the fifth intern. Symposium of Spatial Data Handling, Charleston, 460-469.
- FEURING, T. (1994): Neuronale Fuzzy-Netze: Eine Einführung. Universität Münster, Institut für Numerische und Instrumentelle Mathematik/Informatik, Bericht Nr. 2/94-I.
- FISCHER, M., GOPAL, S., STAUFER, P., STEINNOCHER, K. (1995): Evaluation of Neural Pattern Classifiers for a Remote Sensing Application. Institut für Wirtschafts- und Sozialgeographie, Wirtschaftsuniversität Wien, WSG Diskussionspapiere 46/95.
- HAKE, G. (1982): Kartographie I, Sammlung Göschen, de Gruyter, Berlin, New York.
- MAYER, A., MELCHER, B., SCHLINDWEIN, A., WOLKE, R. (1993): Fuzzy Logic. Einführung und Leitfaden zur praktischen Anwendung. Mit Fuzzy Shell in C++. Addison-Wesley, Bonn.
- ROBERT, C. P. (1994): The Bayesian choice : a decision-theoretic motivation, Springer-Verlag
- SPANDAU, L. (1988): Angewandte Ökosystemforschung im Nationalpark Berchtesgaden - dargestellt am Beispiel sommerlicher Trittbelastung auf die Gebirgsvegetation, Forschungsberichte Nationalpark Berchtesgaden 16, Berchtesgaden.
- STROBL, J. (1996), UNIGIS Hochschullehrgang, Modul 10, Räumliche Analyse II, Salzburg.
- TOBLER, W. (1988): Resolution, resampling and all that. In: MOUNSEY, H. (ed.), Building databases for global science. Taylor & Francis, London, 129-137.
- VOGEL, M. und BLASCHKE, T. (1996): GIS in Naturschutz und Landschaftspflege: Überblick über Wissensstand, Anwendungen und Defizite. In: GIS in Naturschutz und Landschaftspflege, Laufener Seminarbeiträge 4/96, 7-19.
- ZADEH, L. (1965): Fuzzy sets. In: Information and Control 8, 338-353.
- ZIMMERMANN, H.-J. (1993): Fuzzy Technologien, Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale, Düsseldorf.