

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 99 (2001)

**Heft:** 3

**Artikel:** Anwendungsmöglichkeiten von Fuzzy-Methoden in der Geodäsie

**Autor:** Heine, Katja

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235742>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Anwendungsmöglichkeiten von Fuzzy-Methoden in der Geodäsie

Bei vielen geodätischen Problemen können Fuzzy-Methoden bessere Lösungsmöglichkeiten bieten als die klassischen statistischen Ansätze. Das betrifft einerseits Problemstellungen, bei denen mit Unsicherheit behaftete Parameter auftreten, zum anderen können Fuzzy-Regeln bei einer Reihe von geodätischen Modellbildungsproblemen Zusammenhänge besser beschreiben als mathematische Formeln und Gleichungssysteme. Im Beitrag werden einige Ideen zur Anwendung von Fuzzy-Technologien in der Geodäsie aufgeführt und ein Beispiel aus dem Gebiet der Deformationsanalyse ausführlicher erläutert.

*Pour beaucoup de problèmes géodésiques, les méthodes Fuzzy peuvent présenter de meilleures possibilités de solutions que les méthodes statistiques classiques. Cela concerne d'une part le problème des paramètres incertains et d'autre part les règles Fuzzy peuvent mieux décrire les relations pour toute une série de problèmes de modélisation géodésiques que des formules mathématiques et systèmes d'équations. Dans cet article quelques idées sont présentées quant à l'application de technologies Fuzzy en géodésie ainsi qu'est plus amplement expliqué un exemple dans le domaine de l'analyse des déformations.*

Per numerosi problemi geodetici i metodi fuzzy offrono soluzioni migliori dei classici approcci statistici. Questo vale da una parte per le problematiche con parametri carichi di incertezze, dall'altra le regole fuzzy – per tutta una serie di problematiche correlate alla creazione di modelli geodetici – riescono a descrivere meglio le connessioni che non le formule matematiche e i sistemi di equazioni. In quest'articolo si forniscono alcuni spunti sull'impiego delle tecnologie fuzzy in geodesia e si spiega in dettaglio un esempio nel campo dell'analisi della deformazione.

K. Heine

## 1. Unschärfe geodätischer Modelle

Wie auch in anderen Fachdisziplinen werden in der Geodäsie Modelle verwendet, um bestimmte Phänomene zu beschreiben und Prozesse zu verarbeiten. So gibt es Modelle zur Berechnung von Koordinaten aus originären Messwerten oder zur Schätzung des wahrscheinlichen Wertes eines Parameters. Modelle werden genutzt, um die Deformation eines Objektes zu beschreiben, oder es wird versucht, Entscheidungsprozesse durch wissensbasierte Systeme zu unterstützen. Üblicherweise werden für die Modellbeschreibung mathematische Formeln und Gleichungssysteme verwendet. In einigen Fällen sind

die zu modellierenden Zusammenhänge jedoch so komplex, dass sie auf diese Weise nicht mit hinreichender Vollständigkeit wiedergegeben werden können oder aber die zu beschreibenden Sachverhalte sind mittels mathematischer Gleichungen nicht so zufriedenstellend wiederzugeben wie das durch die menschliche Sprache möglich ist. Darüber hinaus sind Modelle oftmals unvollständig, sei es, weil unser Wissen über die realen Zusammenhänge begrenzt ist, oder weil bestimmte Phänomene der Realwelt nicht beobachtbar oder messbar sind.

## 2. Unschärfe Mathematik und Fuzzy-Technologie

Die Theorie der unscharfen Mengen wurde von Zadeh (1965) begründet. Kernge-

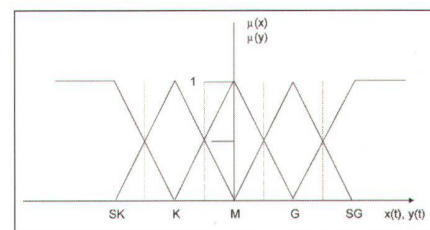


Abb. 1: Fuzzyfizierung mit fünf Termen.

danken sind die graduelle Zugehörigkeit eines Wertes zu einer Menge und die unscharfe Logik als Erweiterung der klassischen zweiwertigen Logik. Die Fuzzy-Logik ist die Grundlage unscharfen Schliessens und somit der sogenannten Fuzzy-Regeln. Fuzzy-Regeln stellen eine Implikation ( $A \rightarrow B$ ), das heisst sie bestimmen, welche Schlussfolgerung zu ziehen ist, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind:

Wenn  $x_1$  gleich  $A_1$  und  $x_2$  gleich  $A_2$  und ...dann ist  $y$  gleich  $B$ .

Je nachdem zu welchem Grad die realen Fakten bzw. Beobachtungen die einzelnen Bedingungen erfüllen, kann der Erfülltheitsgrad der Regel und der unscharfe Wert der Schlussfolgerung mittels spezieller Fuzzy-Operatoren ermittelt werden. Ausführliche Darstellungen der Grundlagen der Fuzzy-Theorie sind beispielsweise in Gottwald (1993) oder Zimmermann (1993) zu finden.

## 3. Fuzzy-Regel-basierte Ansätze für die Modellbildung

Die Verwendung Fuzzy-Regel-basierter Ansätze für die geodätische Modellbildung bietet sich unter folgenden Bedingungen an:

- Die System- bzw. Prozesszusammenhänge sind nicht oder nur unzureichend bekannt.
- Die Prozesszusammenhänge sind bekannt, aber nur schwer durch mathematische Gleichungen zu beschreiben.
- Die Prozesszusammenhänge sind bekannt und mittels klassischer mathematischer Formeln beschreibbar, aber die Modellparameter sind mit Unsicherheit behaftet.



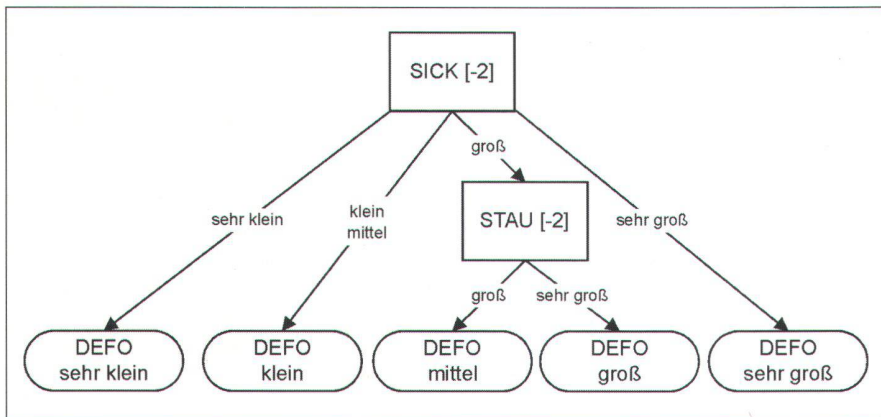


Abb. 2: Entscheidungsbaum des Deformationsprozesses.

Im Folgenden werden Beispiele aus dem geodätischen Aufgabenbereich betrachtet, auf die die oben genannten Kriterien zutreffen und für die Fuzzy-Regel-basierte Ansätze eine Lösungsmöglichkeit bieten können.

### Grundstücksbewertung

Die Grundstücksbewertung ist eines der verschiedenen Aufgabengebiete, an denen Geodäten beteiligt sind. Jedoch erfordert es ausser einem Studium der Geodäsie eine Unmenge an Erfahrungen, um als Experte für Grundstücksbewertung anerkannt zu werden. Einer der wesentlichen Gründe dafür ist, dass das Wissen, das für diese Tätigkeit notwendig ist, nicht einfach durch mathematische Formeln oder feststehende Kriterien erlernbar ist. Vielmehr verlangt diese Aufgabe eine Vielzahl menschlicher Erfahrungen, die zwar linguistisch, aber nicht unbedingt in Form mathematischer Formeln beschreibbar sind. Fuzzy-Regeln sind auf Grund ihrer Struktur der linguistischen Ausdrucksweise sehr ähnlich, deshalb bieten sie sich als Grundlage für ein Expertensystem für diesen Aufgabenbereich an. Bei der Grundstücksbewertung kommt hinzu, dass viele Bewertungskriterien eher unscharf sind und nur schwer durch exakte Werte ausdrückbar sind. Das trifft beispielsweise für die Lagebewertung eines Grundstückes (Verkehrsanbindung, Nachbarschaft, Wohn- und Geschäftssituation) zu. Sie kann besser durch Fuzzy-Variablen wie «sehr gut», «gut», «mittel», «schlecht» oder «sehr

schlecht», denn durch genaue numerische Werte eingeschätzt werden. Dasselbe trifft für die Einschätzung des Grundstücks- und Gebäudezustandes, der Wertminderung durch Grunddienstbarkeiten oder öffentliche Lasten, die Vorhersage der allgemeinen konjunkturellen Entwicklung und andere zu.

### Datenanalyse in Geographischen Informationssystemen

Analysefunktionen in Geographischen Informationssystemen ermöglichen die Analyse raumbezogener Daten und die Schaffung neuer Information. Insbesondere in den Umwelt- und in den Sozialwissenschaften resultieren Sachdaten oftmals aus statistischen Erhebungen, z.B. der Zustand der Umweltbelastung, die Verbreitung bestimmter Populationen, Untersuchungen menschlicher Verhaltensweisen. Oftmals sind die erhobenen Stichproben sehr klein, so dass die untersuchten Kriterien besser durch Fuzzy-Variablen repräsentiert werden sollten. Ausserdem ist in solchen Fällen weniger der Absolutwert eines bestimmten Merkmals von Interesse, sondern eher dessen Größenordnung und die relativen Unterschiede der einzelnen Merkmalsklassen. Für den GIS-Anwender kann unter Umständen die Präsentation von Sachdaten durch Fuzzy-Variablen einfacher überschaubar sein, da er nicht gezwungen ist, die wesentlichen Informationen aus einer grossen Anzahl für ihn uninteressanter Informationen herauszufiltern.

Eine wichtige Analysefunktion im GIS ist

die Zonengenerierung. Durch die Zonengenerierung wird um ein Objekt – ein Punkt, eine Linie oder eine Fläche – eine Pufferzone gebildet. Durch eine klassische Zonengenerierung werden Pufferzonen mit scharfen Grenzen gebildet, beispielsweise eine 200-m-Abstands-Zone entlang einer Autobahn oder ein 5-km-Umkreis um eine Autobahnanschlussstelle. In vielen Fällen können scharfe Pufferzonen nicht den Sachverhalt ausdrücken der eigentlich ausgedrückt werden soll. So macht es z.B. keinen Unterschied, ob ein Wohngebiet 199 m, 200 m oder 201 m von einer Autobahn entfernt ist – die Lärmbelastung ist ziemlich die gleiche, aber scharfe Zonengrenzen suggerieren das Gegenteil. Das Gleiche trifft auf die Entfernung eines Industriestandortes von der nächsten Autobahnanschlussstelle zu. Die Nutzung von Fuzzy-Mengen bei der Zonengenerierung kann somit vernünftiger Entscheidungsvarianten bei der Standortplanung bieten.

Die Fuzzy-Logik ermöglicht die Verarbeitung unscharfer Informationen wie unscharfer Merkmale oder unscharfer Pufferzonen. Eine Flächenverschneidung, die ebenfalls bei der Standortplanung angewandt wird, kann mittels der Fuzzy-Logik realisiert werden. Die Bedingungen, die bei der Standortplanung berücksichtigt werden müssen, können dann durch Fuzzy-Regeln ausgedrückt werden, so dass im Endeffekt mehr sinnvolle Lösungen zur Auswahl stehen. Die genannten Beispiele sind nur eine Auswahl potenzieller Anwendungen der Fuzzy-Theorie im Zusammenhang mit Geo-Informationssystemen.

### Deformationsanalyse

Die Kausalkette von



eines Deformationsprozesses wird am umfassendsten durch ein sogenanntes Ursache-Wirkungs-Modell (Heunecke et al. 1998) beschrieben, welches die Deformationsursachen in das Modell mit einbezieht. Die Modelle können entweder auf theoretischem oder auf experimen-



```

IF (SICK_2 = SG) THEN DEFO:=SG ;
IF (SICK_2 = G) AND (STAU_2 = G) THEN DEFO:=M ;
IF (SICK_2 = G) AND (STAU_2 = SG) THEN DEFO:=G ;
IF (SICK_2 = M) THEN DEFO:=K ;
IF (SICK_2 = K) THEN DEFO:=K ;
IF (SICK_2 = SK) THEN DEFO:=SK ;
END.

```

Abb. 3: Abgeleitete Fuzzy-Regelbasis.

tellem Weg erstellt werden. Wenn die kausalen Zusammenhänge des Deformationsprozesses und die Systemparameter a priori nicht bekannt sind, ist die Modellbildung nur mit einem experimentell ermittelten Ein-Ausgangs-Modell möglich. Eine Möglichkeit der Modellbeschreibung durch ein Fuzzy-Regel-basiertes Ein-Ausgangs-Modell wird im folgenden kurz dargestellt.

## 4. Beschreibung eines Deformationsprozesses durch ein Fuzzy-Regel-basiertes Ein-Ausgangs-Modell

Das Kernproblem bei der Ein-Ausgangs-Modellbildung ist die Erstellung einer Systembeschreibung aus den gemessenen Ein- und Ausgangsdaten. Bei der Fuzzy-Modellierung muss somit die Regelbasis aus vorhandenen Messwerten ermittelt werden, wofür im Wesentlichen Induktionsalgorithmen oder Clusterverfahren genutzt werden (Wang [1994]), Dung et al. [1997a]).

Im Folgenden wird die Modellbildung des Deformationsprozesses eines bewegungsaktiven Hanges an einer Talsperre vorgestellt. Die grundlegenden Schritte

dieser Modellmethode beruhen auf einem Verfahren von Dung et al. (1997a). Zu Demonstrationszwecken ist das Modell möglichst einfach strukturiert worden. Die beiden Eingangsgrößen sind die Stauhöhe der Talsperre und der im Hang gemessene Sickerwasserabfluss. Die Deformationswerte wurden durch Extensometer im Hang erfasst. Eine Dynamik des Prozesses wurde nur durch die Einführung einer zeitlichen Verschiebung zwischen Ursache und Reaktion näherungsweise berücksichtigt.

Der Modellbildungsprozess beinhaltet die im Weiteren aufgeführten Schritte. Für eine ausführliche Erläuterung der Modellbildungsmethode und deren Ergebnisse sei auf Heine (1999) verwiesen.

### 1. Fuzzyfizierung der Ein- und Ausgangsdaten

Die gemessenen (scharfen) Werte der Ein- und Ausgangsdaten werden zunächst in gleich grosse unscharfe Mengen transformiert, welche durch Triangularfunktionen repräsentiert werden. Die Terme können beispielsweise mit «sehr klein», «klein», «mittel», «gross» und «sehr gross» bezeichnet werden.

### 2. Aufstellung der Regelbasis durch einen Induktionsalgorithmus

Der sogenannte ID-3-Algorithmus von Quinlan (1992) ermöglicht die Aufstellung eines optimalen Entscheidungsbaumes durch die Bestimmung der Entropie der einzelnen Eingangsgrößen. Die Entropie ist ein Mass für den Informationsgehalt eines Ereignisses und hängt direkt mit der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses zusammen. Je geringer die Wahr-

scheinlichkeit des Eintreten eines Ereignisses, um so höher ist die Entropie. Die Regelbasis wird direkt aus einem Entscheidungsbaum abgeleitet, dessen erstes Entscheidungskriterium die Einflussgrösse mit der geringeren Entropie ist.

### 3. Inferenz und Defuzzifizierung

Aus der Regelbasis wird zunächst der unscharfe Modell-Ausgangswert gebildet, welcher anschliessend in einen scharfen Modell-Ausgangswert transformiert wird.

### 4. Optimierung

Durch ein geeignetes Optimierungsverfahren können die Form und die Grösse der Fuzzy-Sets der Ein- und Ausgangsdaten optimiert und anschliessend eine entsprechend verbesserte Regelbasis erstellt werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Fuzzy-Modellbildung bietet unter bestimmten Bedingungen die Möglichkeit einer besseren System- oder Prozessbeschreibung als klassische Verfahren. Ob und in welcher Weise Fuzzy-Methoden sinnvoll einzusetzen sind, hängt wie bei jeder Modellbildung davon ab, welche Modellbildungsziele verfolgt werden und welche a priori-Informationen gegeben sind.

Durch eine Kombination der Fuzzy-Methoden mit Künstlichen Neuronalen Netze kann das mögliche Einsatzspektrum und die Leistungsfähigkeit dieser Verfahren weiter erhöht werden.

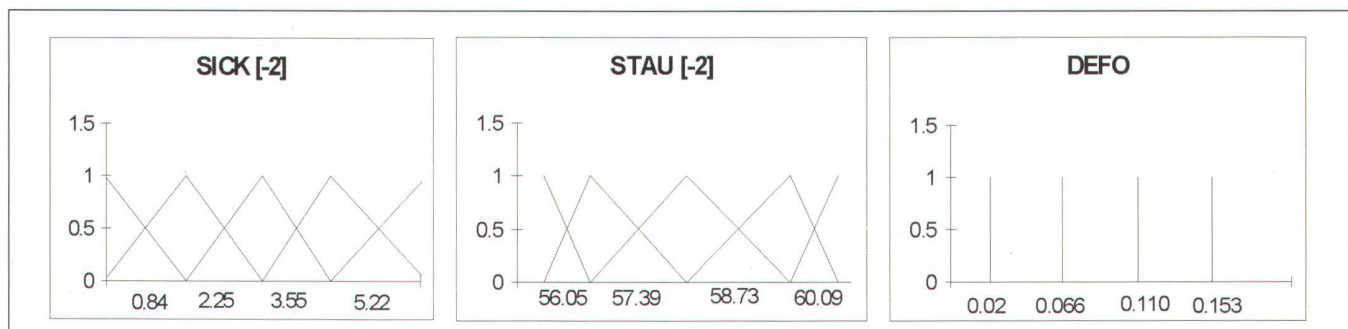


Abb. 4: Optimierte Fuzzy-Sets.



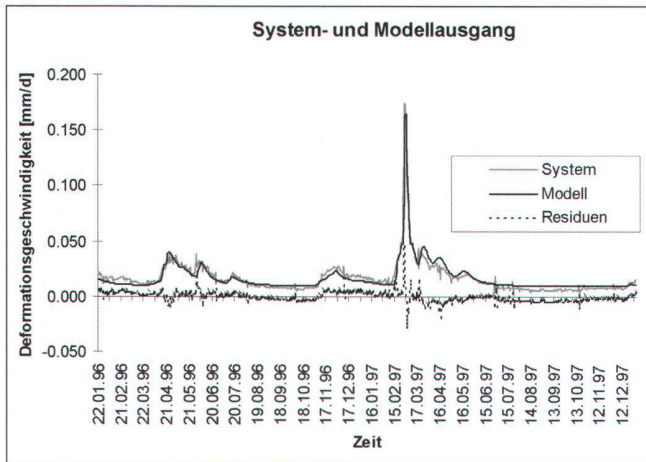




Abb. 5: Vergleich von System- und Modellausgang des Deformationsprozesses.

## Literatur:

- Bill, R. (1999): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Heidelberg.
- Borselli, L., Magaldi, D., Tallini, M. (1998): Assessment of hillslope instability hazard based on fuzzy mathematics. In: Proc. of Eighth Intern. Congress of the Intern. Association for Engineering Geology and the Environment in Vancouver 1998, Vol. 2, S. 891–898.
- Dung, L. T., Otto, P. (1997a): Fuzzy-Modellbildung mit maschinell gelernten Regeln. In: Proc. of Intern. Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1997, Bd. 3, S. 209–215.
- Dung, L. T., Koch, M., Otto, P. (1997b): FuzzyOpt – ein Werkzeug zum Entwurf optimaler Fuzzy Systeme. In: at-Automatisierungstechnik 45 (1997), München, S. 555–556.
- Gottwald, S. (1993). Fuzzy sets and Fuzzy Logic. Vieweg, Braunschweig Wiesbaden.
- Heine, K. (1999): Beschreibung von Deformationsprozessen durch Vollerterra- und Fuzzy-Modelle sowie Neuronale Netze. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 516, München.
- Heunecke, O., Pelzer, H., Welsch, W. (1998): On the Classification of Deformation Models and Identification Methods in Engineering Surveying. In: Proc. of XXI. Intern. Congress, Developing the Profession in a Developing World, Com. 6 Engineering Surveys, Brighton, S. 230–245.
- Quinlan, J. R. (1992): C 4.5. Programs for Machine Learning. San Mateo, California.
- Wang L.-X. (1994): Adaptive fuzzy systems and control. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Zadeh L. A. (1965): Fuzzy sets. In: Information and Control 8 (1965), S. 338–353.
- Zimmermann H. J. (1993): Fuzzy-Technologien. Düsseldorf.

Dr.-Ing. Katja Heine  
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
 Lehrstuhl für Vermessungskunde  
 Universitätsplatz 3-4  
 D-03044 Cottbus  
 hei-k@tu-cottbus.de

## Mit Sicherheit funken.

**Anmelde- und  
gebührenfrei  
bis 0.5 Watt**

Ideal, günstig, schnell und sicher.  
 Überall wo rationell gearbeitet  
 wird. Für Industrie, Bau, Unterhal-  
 tungs- und Servicedienste.

## KENWOOD

**PMR 446**

0.5 Watt  
 CHF 385.–  
 inkl. MwSt.

**HANDY 430**

2.5 Watt  
 CHF 459.–  
 inkl. MwSt.  
 Betriebsbereit, mit Akku und Ladegerät.



**JA, ich möchte mit KENWOOD funken.**

- ☐ Bitte senden Sie mir weitere Gratisinformationen.
- ☐ Wo ist mein nächster KENWOOD-Stützpunkt?

Name/Vorname

Firma

Strasse

PLZ/Ort

Telefon

Telefax

E-Mail

Gleich  
Gratisinfos  
anfordern.

**MOTCOMM**  
 Communication

Motcom Communication AG  
 Herostrasse 9, CH-8048 Zürich  
 Telefon 01-437 97 97 / Telefax 01-437 97 99  
 contact@motcom-com.ch, www.motcom-com.ch