

# Einsatz von wissensbasierten Systemen und Fuzzy Sets bei Umweltverträglichkeitsuntersuchungen in der Verkehrsplanung.

*Andreas WITTE*

(Dr.-Ing. Andreas WITTE, Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen, Mies-van-der-Rohe-Straße 1, D-52074 Aachen,  
e-mail: [witte@isb.rwth-aachen.de](mailto:witte@isb.rwth-aachen.de))

## 1. ABWÄGUNG, BEWERTUNG UND ENTSCHEIDUNGEN IN DER VERKEHRSPPLANUNG

Um Entscheidungen, beispielsweise in der Verkehrs- oder Umweltplanung zu unterstützen, sind nicht nur quantitative Angaben über Wirkungen von Handlungsoptionen ("Maßnahmen") zu berücksichtigen, sondern auch weitgehend nur qualitativ zu formulierende Zusammenhänge. Aus Gründen der Effizienz und der zunehmenden Verbreitung digitaler Plan- und Datengrundlagen erfolgt nicht nur die Datenaufnahme sondern auch die konkrete Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung zunehmend EDV-gestützt. Die Entscheidungsgrundlagen und Entscheidungszusammenhänge sind dabei einerseits sehr komplex sowie andererseits auch von Unsicherheiten und Unschärfen bei Informationen und Interpretationen gekennzeichnet. Die Fähigkeiten des Menschen mit unscharfen Informationen und auch in mit Unsicherheiten behafteten Situationen Entscheidungen zu treffen, sollten daher in einem EDV-gestützten System so weit wie möglich abgebildet werden. Konventionelle Computerprogramme können jedoch zahlreiche Begriffe des menschlichen Denkens nicht angemessen abbilden und verarbeiten. Unschärfe Mengen (Fuzzy Sets) und wissensbasierte Systeme können helfen, die erforderlichen Daten und das benötigte Wissen mit seinen vorhandenen Unschärfen adäquat rechnergestützt zu verarbeiten. Sie können logische Ableitungsstrategien berücksichtigen und das menschliche Entscheidungsverhalten durch unscharfe Mengen (Fuzzy Sets) relativ realitätsnah abbilden.

Fuzzy Sets und Fuzzy Logik haben sich insbesondere bei regelungstechnischen und sonstigen industriellen Anwendungen erfolgreich gezeigt. Inwieweit die dort praktizierte Vorgehensweise auf die Entscheidungsunterstützung in der Verkehrs- und Raumplanung zu übertragen ist, ist Gegenstand der folgenden Ausführungen.

Prinzipielle Grundlagen der Fuzzy-Set-Theorie sowie Untersuchungen, welche Anwendungsgebiete denkbar sind, waren bereits mehrfach Thema im Rahmen der CORP (vgl. Blaschke, 97, Reinberg und Bröthaler, 97). Daher wird hier auf eine allgemeine theoretische Einführung (ausführlich z.B. in Zimmermann, Mayer et al., Rommelfanger) verzichtet und ein spezieller Anwendungsbereich näher betrachtet.

## 2. UMWELTVERTRÄGLICHKEITSUNTERSUCHUNGEN IN DER VERKEHRSPPLANUNG

Die Entscheidungsvorbereitung im Rahmen von komplexen und umfangreichen Planungsprojekten im Verkehrsbereich (z.B. umweltverträgliche Planung eines Verkehrsnetzes bzw. einer Verkehrsstrasse) ist von unterschiedlichen Rahmenbedingungen geprägt. Je nach Planungsebene differieren die angestrebte Aussageschärfe, die Abwägungs- und Bewertungsmethoden, die zur Verfügung stehenden Informationen, definierte Grenz- oder Orientierungswerte, die Entscheidungsträger und sonstige Beteiligte etc. Das Anwendungsbeispiel, welches im Folgenden vorgestellt wird, bezieht sich auf die oberste deutsche Verkehrsplanungsebene, die Bundesverkehrswegeplanung. Dabei wird insbesondere die Risikoabschätzung die durch neue Infrastruktur hervorgerufen wird sowie die Ermittlung und Darstellung der bestehenden Belastungssituation eines Untersuchungsraumes thematisiert.

Die Informationsmenge ist bei diesen umfangreichen Planungen oft nur noch mit Hilfe von EDV-Systemen zu handhaben. Zu diesem Zweck werden insbesondere geographische Informationssysteme (GIS) zur Datenaufnahme, -verwaltung und -darstellung in Form von Computerplots eingesetzt. Die vorhandenen und berechneten Daten und Informationen müssen dabei jedoch mit Hilfe eines formalisierten Systems entscheidungsrelevant verdichtet und aufbereitet werden. Qualitative und sehr grobe Zielaussagen und Informationen, die insbesondere der Abwägung und Beurteilung von Alternativen dienen, stellen hier jedoch ein besonderes Problem dar. Die zu berücksichtigenden Sachverhalte (z.B. die Empfindlichkeit eines Raumes in naturräumlicher und siedlungsstruktureller Sicht) sind auch hier oft unter Verwendung verbaler Begriffe beschrieben und somit qualitativ und nicht quantitativ ausgedrückt. Sie beinhalten Aussagen über Wirkungstendenzen, häufig jedoch nicht Beschreibungen funktionaler Wirkungsbeziehungen. Eine

zusammenfassende Bewertung und Einteilung in Bewertungsklassen wie "hoch empfindlich" oder "hoch belastet" erleichtern unter Umständen die Übersichtlichkeit und die Verständlichkeit des Bewertungszusammenhangs, sind sachlogisch aber mit Unschärfen in Bezug auf eine exakte Definition und Abgrenzung der Bewertungskriterien versehen. Weitere Probleme sind in diesem Zusammenhang einerseits die Informations- oder Genauigkeitsverluste bei einer Klassenbildung mit nur sehr wenigen Klassen und andererseits die sehr aufwendigen und unübersichtlichen Bewertungsregeln bei einer Vielzahl von Klassen und Abstufungen, die verbal kaum nachvollziehbar zu unterscheiden sind (siehe auch Abb. 1 und 2).

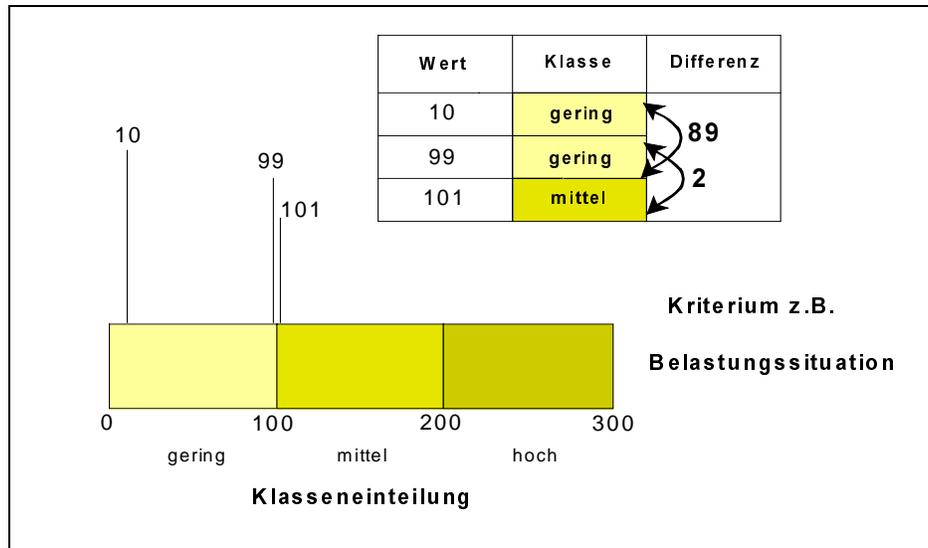


Abb. 1 Klassensprünge bei geringen Wertänderungen

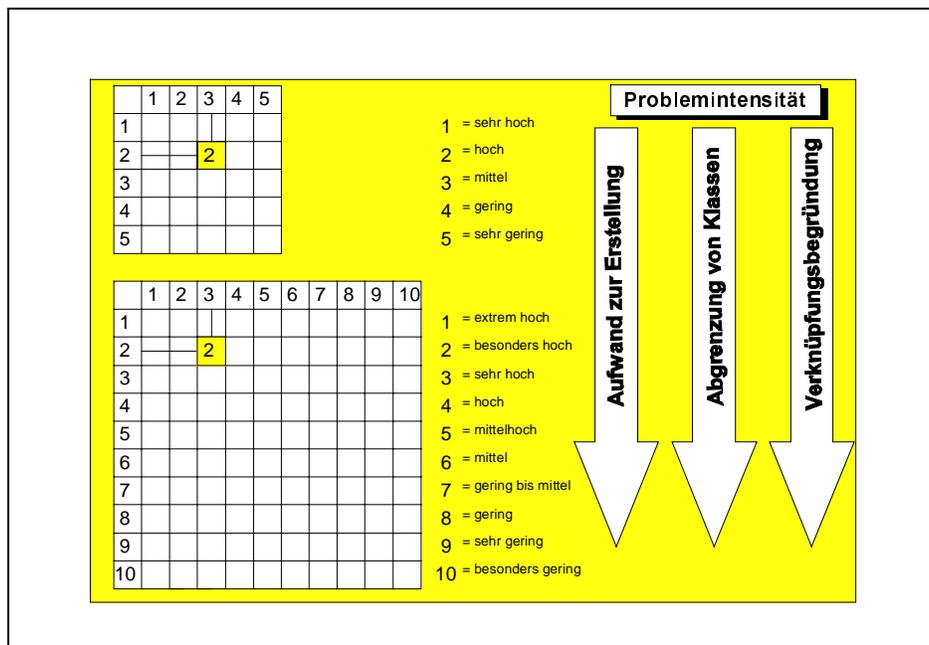


Abb. 2 Probleme bei Erhöhung der Anzahl von Klassen und Verknüpfungsvorgängen

Als prinzipielle methodische Hilfsmittel werden die ökologische Risikoanalyse oder nutzwertanalytische Verfahren eingesetzt. Als Lösungsansatz für eine EDV-technische Umsetzung bieten sich unter anderem die wissensbasierten Systeme - auch Expertensysteme genannt - an. Mit Hilfe dieser Systeme wird ein Sachverhalt mit verbal darstellbaren Regelsystemen anstatt über Algorithmen und Programmkonstrukte beschrieben. Dieses Wissen über Zusammenhänge kann dann zur Entscheidungsvorbereitung herangezogen werden. In Verbindung mit einer Erklärungskomponente, die die gezogenen Schlußfolgerungen protokolliert und auf die „aktiven“ Regeln verweist, können komplexe Wirkungs- und Bewertungszusammenhänge dargestellt und rechnergestützt bearbeitet werden. Vielfach sind die verwendeten Regeln jedoch auf eine eindeutige ja/nein-Struktur zur Beschreibung des Zutreffens einer Prämisse ausgelegt. Eine Erweiterung ergibt sich durch einen wissensbasierten Ansatz unter Verwendung von Fuzzy-Methoden.

Die sogenannten unscharfen Mengen (Fuzzy Sets) und die darauf aufbauende unscharfe Logik (Fuzzy-Logik) ermöglichen den Umgang mit unscharfen und unsicheren Informationen. Wesentliche Elemente sind hier die sogenannten linguistischen Variablen, eine besondere Form der unscharfen Mengen. Sie ermöglichen die modellmäßige Erfassung verbaler Beurteilungen unter anderem dadurch, daß ein Element einer unscharfen Menge zu unterschiedlichen Graden angehören kann. Im Gegensatz zu numerischen Variablen sind deren Werte bzw. Ausprägungen keine Zahlen, sondern Worte oder Ausdrücke in einer natürlichen oder künstlichen Sprache.

### 3. BEISPIEL: RAUMVERTRÄGLICHKEIT GROSSRÄUMIGER VERKEHRSACHSEN

Im folgenden Beispiel wird die Vorgehensweise am Beispiel der Straßenplanung illustriert. Genauer betrachtet wird die Fuzzy-basierte Ermittlung der Empfindlichkeit eines Untersuchungsraumes gegenüber infrastrukturellen, hier speziell verkehrlichen (Neu-)Belastungen im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Neben den verkehrlichen, technischen und finanziellen Aspekten sind raumordnungspolitische und umweltpolitische Anforderungen an die Infrastruktur zu beachten, die eine gesamtgesellschaftliche Bewertung widerspiegeln. Es sind somit in ihrer Genauigkeit und Ausprägung unterschiedliche Kriterien oder Leitindikatoren zu berücksichtigen. Eine Bewertung und Beurteilung kann in diesem Planungsstadium nicht den Anspruch einer mathematischen Genauigkeit erheben, eine „scharfe“ Klasseneinteilung mit nachvollziehbaren und exakt definierbaren Grenzen ist in der Regel nur begrenzt möglich.

Nach einer „konventionellen“ Klassenbildung gehen graduelle Unterschiede innerhalb einer Klasse bei den nachfolgenden Verarbeitungsschritten (zum Beispiel bei der Zusammenfassung von Kriterien) verloren. Bei der Nutzung unscharfer Mengen wird durch die Angabe des Grades der Zugehörigkeit zu einer Menge zwischen 0 und 1, die „Lage“ innerhalb einer Klasse für weitere Rechenoperationen nutzbar. Daher werden die Kriterien zur Ermittlung von räumlichen Empfindlichkeiten als unscharfe Mengen auf einer reellwertigen Basisvariablen abgebildet. Die praktische Umsetzung erfolgte mit dem Software-Tool „Fuzzy-Tech“, einer Fuzzy-Shell, die primär als interaktive Programmierumgebung für industrielle und andere Steuerungen konzipiert ist, aber mit Einschränkungen auch im Bereich der Planung einsetzbar ist. Die Darstellung der Ergebnisse (als defuzzifizierte, scharfe Ergebniswerte für vorher abgegrenzte Polygone) und die Speicherung der Grundlagendaten erfolgt mit dem Desktop-Mapping System MAP-INFO. Der Datenaustausch ist über eine einfache Schnittstelle möglich.

Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine Definition von Zugehörigkeitsfunktionen für die Variable Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil als linguistische Variable. Mehrere Variablen werden mittels Verknüpfungsregeln (unter Verwendung eines Verknüpfungsoperators) zur Raumempfindlichkeit aggregiert. Die linguistischen Variablen lassen sich insbesondere dann einsetzen, wenn eine geeignete Basisvariable vorhanden ist. Wenn diese Basisvariable jedoch nicht mit entsprechenden Daten unterlegt werden kann, muß auf eine „künstliche“ Basisvariable zurückgegriffen werden, die dann allerdings das intuitive Verständnis oder die Nachvollziehbarkeit der Bewertungsvorgänge erschwert.

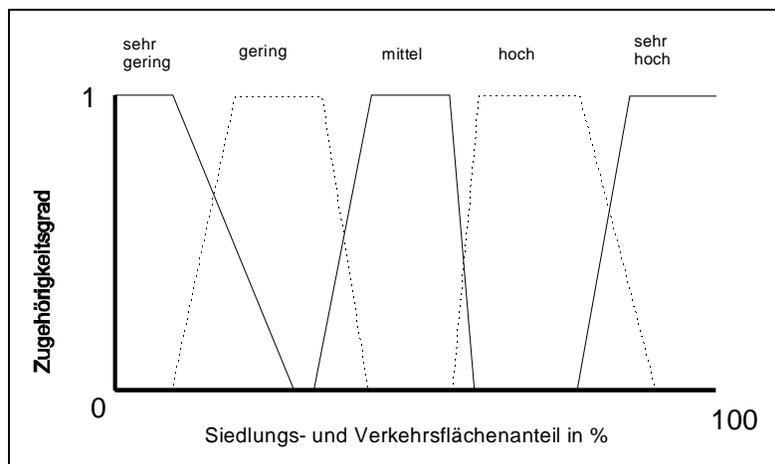


Abb. 3: Beispiel einer linguistischen Variable

Die Zusammenfassung von verschiedenen Kriterien erfolgt über logische Regeln in einer „wenn-dann“ Form (siehe Abbildung 4). Durch die Verwendung der natürlichen Sprache bleiben die Zusammenhänge der Regelbasis nachvollziehbarer und sind schneller zu ändern, als wenn sie in einem Programmcode enthalten wären. Die Verknüpfung erfolgt über unterschiedliche Operatoren, die es ermöglichen, die logischen Verknüpfungsoperationen für konventionelle Mengen auf unscharfe Mengen zu übertragen. Die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Operatoren und die Wirkung auf das Abwägungsergebnis stellt dabei sowohl eine Chance (z.B. durch die Einbeziehung des kompensatorischen Entscheidungsverhaltens des Menschen) als auch ein Risiko für die Nachvollziehbarkeit dar, da die Rechenvorgänge bei Verwendung der Fuzzy-Logik relativ komplex sind und jeder Operator ein anderes Verknüpfungsverhalten zeigt.

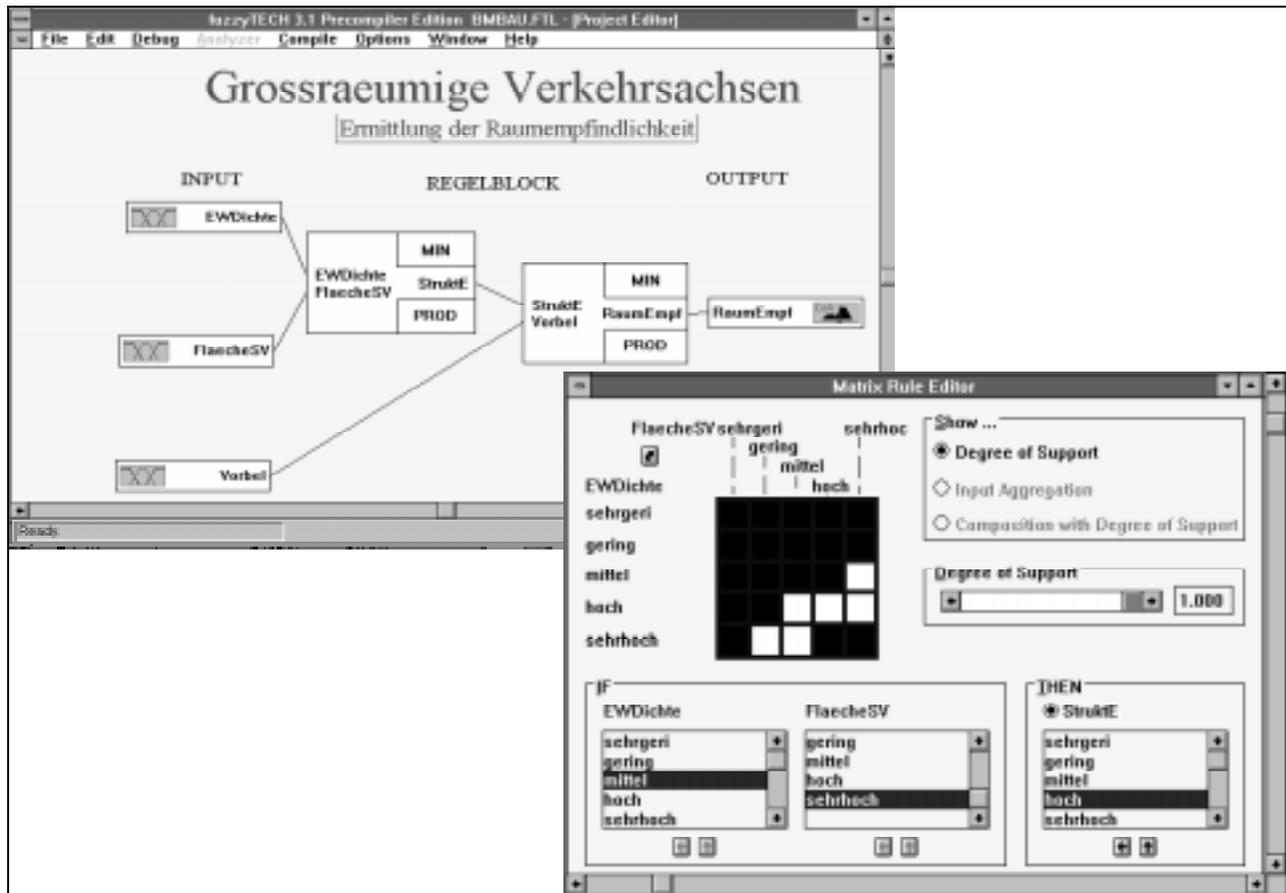


Abb. 4 Regelbasis und Kriterienzusammenfassung

Durch die Verwendung von unscharfen Mengen können insgesamt die Differenzierungsmöglichkeiten und die Genauigkeit der Bewertungsaussagen, ohne daß der Aufwand zur Erstellung von Bewertungsregeln steigt, erhöht werden. „Bewertungssprünge“, die bei konventioneller Klasseneinteilung vorkommen, sind somit vermeidbar. Die mit der Einstufung vorhandene Unschärfe bleibt jedoch über die weiteren Verarbeitungsschritte erhalten.

Die Ergebnisse die mit Hilfe des in Form von Regeln eingegeben Wissens ermittelt worden sind, sind wiederum Zugehörigkeiten zu verschiedenen unscharfen Mengen. Diese müssen, um sie raumbezogen in einer Karte darzustellen, mit Hilfe von Defuzzifikationsmethoden wieder auf einen Wert zurückgeführt werden (Ergebnisse siehe Abbildung 5). In dieser Abbildung wird die mit Hilfe eines Fuzzy-Systems ermittelte Raumempfindlichkeit mit bestehenden Verkehrsbändern in NRW überlagert und es ergeben sich Konfliktbereiche von hoch empfindlichen Bereichen mit Überlagerung durch hohe Verkehrsbelastungen. Im Vergleich zu „scharfen“ Mengeneinteilungen ergibt sich die Möglichkeit mehr als 5 Ausgangsklassen darzustellen und somit die Aussagegenauigkeit bei gleicher Regelanzahl zu erhöhen. Aber auch hier ergibt sich die Fragestellung mit welcher Berechnungsmethode unterschiedliche Zugehörigkeiten zu einer unscharfen Ergebnismenge adäquat zu einem scharfen Ergebniswert defuzzifiziert werden können und wie dies im Sinne der Nachvollziehbarkeit verdeutlicht werden kann. Beide Fragestellungen sind derzeit noch nicht abschließend geklärt.

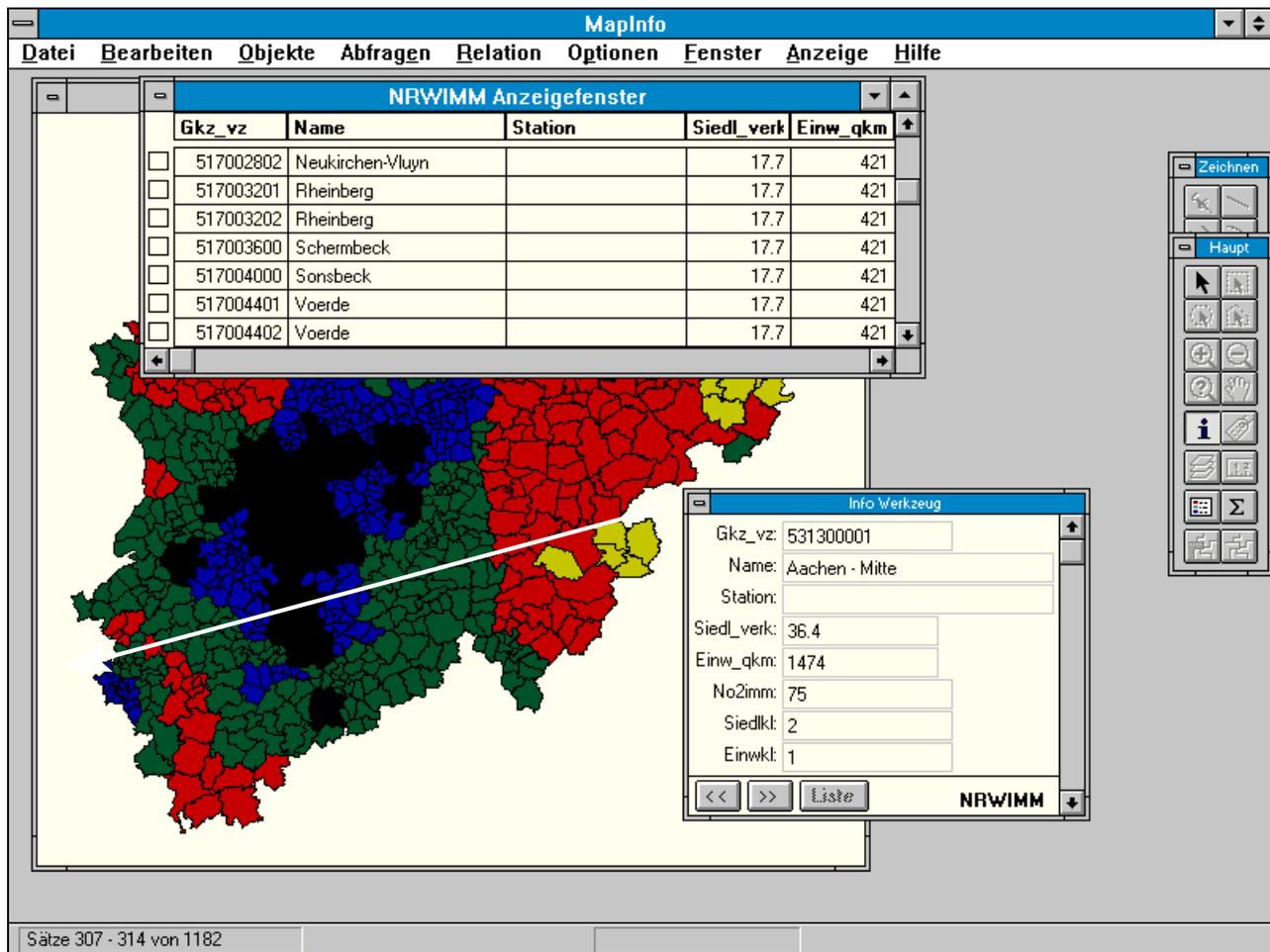


Abb. 5: Ergebnisdarstellung

Die notwendigen und komplexen Berechnungsschritte sowie die Vielfalt von Berechnungsoptionen innerhalb des Fuzzy-Systems stellen auch ein Problem hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse dar. Sie erleichtern nur bedingt die angestrebten Lernprozesse über Wirkungszusammenhänge bei Entscheidungsträgern. Letztendlich sollten die ermittelten Ergebnisse nur als Entscheidungshilfe hinzugezogen werden. Sie können eine mit allen Beteiligten "interaktiv" erarbeitete Entscheidungsfindung innerhalb der Umweltverträglichkeitsuntersuchung nicht ersetzen, aber sinnvoll ergänzen. Die Einbindung in ein GIS-System ermöglicht es jedoch, alle Bearbeitungsschritte einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung (u.a. auch Entscheidungssituationen mit unscharfen Bewertungszusammenhängen) rechnergestützt zu bearbeiten.

## LITERATUR

- Blaschke, Th., „Unschärfe und GIS : „Exakte“ Planung mit unscharfen Daten ?“, Tagungsband CORP 1997, Wien 1997.
- Mayer, A., Mechler, B., Schlindwein, A., Wolke, R., „Fuzzy Logic - Einführung und Leitfaden zur praktischen Anwendung mit Fuzzy-Shell in C++“, Bonn 1993.
- Reinberg, S., Bröthaler, J., „Integration von Fuzzy-Methoden in Bewertungsverfahren“, Tagungsband CORP 1997, Wien, 1997.
- Rommelfanger, H., „Fuzzy Decision Support-Systeme“, Springer Verlag, Heidelberg, 1994.
- Witte, A., „Integration von Fuzzy Sets und wissensbasierten Systemen in die EDV-gestützte Bearbeitung von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen in der Verkehrsplanung“, Dissertation an der RWTH Aachen, 1996, Stadt-Region-Land, Berichte des Instituts für Stadtbauwesen, RWTH Aachen, Band 46, Aachen 1997.
- Zimmermann, H.J., „Fuzzy Set Theory and its Applications“, Second Revised Edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.
- Zimmermann, H.J., „FUZZY Technologien, Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale“, VDI Verlag, Düsseldorf 1993.