



# Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

## **„Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geodaten“**

Für ein entscheidungsunterstützendes System in  
der Umweltrisikobewertung

vorgelegt von

**Dipl. Ing. (FH) Jens Krumpe**  
U1346, UNIGIS MSc Jahrgang 2007

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Ludwigsfelde, 30.06.2009

## **Kurzfassung**

Die Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) ist nach der europäischen Richtlinie über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (91/414/EWG) verpflichtend. In Deutschland wird derzeit ein neues Verfahren entwickelt, welches Geodaten als wichtige Eingangsparameter zur realistischeren Risikoabschätzung von PSM einbezieht.

Ein Risiko für aquatische Organismen kann von landwirtschaftlichen Flächen unter anderem durch die Verdriftung von PSM unmittelbar nach der Applikation ausgehen. Kleinräumige Landschaftsanalysen im theoretischen Driftbereich von 150[m] zwischen einer Applikationsfläche<sup>1</sup> und einem benachbarten oberflächennahen Gewässer sind für eine realistischere Risikobetrachtung notwendig. Hierfür wurde bisher das ATKIS®-Basis-DLM als einzige Datengrundlage genutzt. Aufgrund der starken Abstraktion des ATKIS®-Datenmodells werden häufig zu unrealistische Aussagen über die räumlichen Zusammenhänge zwischen den landwirtschaftlichen Nutzflächen und deren Nachbarschaft zu Gewässern getroffen.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein pragmatischer Lösungsansatz entwickelt, der es erlaubt, verteilte Geodaten mit unterschiedlichen Maßstabebenen, unterschiedlichen Thematiken sowie unterschiedlichen Datenformaten miteinander zu kombinieren. Geobjekte, die ein Kombinationspaar bilden, wurden hinsichtlich ihrer Merkmalsdimensionen „Raum“, „Zeit“ und „Thematik“ bewertet. Infolge von Unschärfen in den eben genannten Merkmalsdimensionen der jeweiligen Datenquelle, wurde zur Bewertung das Konzept der unscharfen Mengen (Fuzzy-Mengen) angewandt. Auf Grundlage der unterschiedlichen Bewertungen wurde schlussendlich eine Gesamtbewertung (Multiattributive Raumbewertung) durchgeführt. Das Ziel einer Gesamtbewertung besteht darin, eine harmonisierte Datengrundlage hinsichtlich einer bestimmten Landnutzung (Applikationsfläche) zu schaffen. Der Aufwand im Umgang mit unterschiedlichen Datenformaten von verteilt vorliegenden Geodaten, konnte durch die konsequente Nutzung von OGC® konformen Geo-Web-Diensten erheblich reduziert werden.

---

<sup>1</sup> Als Applikationsfläche werden alle landwirtschaftlich genutzten Flächen bezeichnet, da diese potentiell mit PSM behandelt werden.

---

Eine erneute kleinräumige Landschaftsanalyse auf Basis dieser harmonisierten Datengrundlage ergab, dass gegenüber dem herkömmlichen Ansatz (alleinige Verwendung des ATKIS®-Basis-DLM), eine realistischere Beschreibung der landwirtschaftlichen Landnutzung im theoretischen Driftbereich ermöglicht werden konnte. In 90% der untersuchten Fälle führte dieser Ansatz zur Verringerung des Risikos für aquatische Organismen. Die Landnutzung wurde anhand von Luftbildkontrollen und Ortsbegehungen validiert. Infolge der Skalierbarkeit durch die Verwendung etablierter IT- Standards hinsichtlich des Datenzugriffs und der Dateninterpretation, ist die Nachnutzung des Lösungsansatzes auch für andere geodatennutzende Fachbereiche denkbar.

Diese Arbeit gliedert sich in das vom Umweltbundesamt (UBA) finanzierte F+E Vorhaben „Umsetzung der probabilistischen Risikobewertung in den Vollzug des PflSchG – Evaluierung der Pilotphase und Übertragung auf Feldkulturen“ thematisch ein. Forschungsprojektnummer: FKZ 3707 63 4001

### **Abstract**

Pesticide risk assessment is an obligatory procedure (91/414/EWG) within the Regulation of Plant Protection Products on EU level. In Germany a spatial risk assessment is being developed in order to establish a more realistic risk assessment. Spray drift of pesticide occurs during and immediately after a pesticide application.

This can lead to unacceptable effects on aquatic organisms. For a realistic risk assessment a detailed landscape analysis around water bodies and the adjacent fields of pesticide application is required. The maximum buffer distance corresponds to the theoretical spray drift range of 150 [m]. The detailed landscape analysis was conducted to date using only the ATKIS® Basis-DLM data base only. Due to the strong abstraction of the ATKIS® data model, the spatial relationship between (near-surface) water bodies is unspecific.

In this presented work a method is described which allows the combining of distributed spatial data sets of different scales, themes and dates and data formats. Spatial objects, which describes of a combination pair, were asserted in terms of their characteristic dimensions of “space”, “time” and “theme”. Due the fuzziness of the above-mentioned characteristics dimensions the concept of fuzzy quantities was applied. Based on the results on three different assessments a combined overall assessment

---

was finally performed. The aim of an overall assessment is a harmonized database regarding a particular application field. The effort in handling within data formats from distributed spatial data sets was significantly reduced by use of OGC® Web Services.

Compared with the conventional approach (using ATKIS® Basis-DLM only) these harmonized data set shows a realistic description of agriculture land-use in the theoretical drift range. This approach reduced the risk probability in 90 % of the investigated cases. The method/findings were validated by aerial and local inspections. Through the use of established IT-standards for data access and data interpretation were used this approach is also applicable for other disciplines referring to spatial data.

This work is thematically integrated in the R+D project “Probabilistic risk assessment in the german plant protection act – Evaluation of the initial phase and transfer to arable crops” founded by the German Federal Environmental Agency, Umweltbundesamt (UBA). Research Project Number: FKZ 3707 63 4001

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>I. Ehrenwörtliche Erklärung</b> .....	<b>VII</b>
<b>II. Sprachliche Gleichbehandlung der Geschlechter</b> .....	<b>VIII</b>
<b>III. Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>IV. Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>XI</b>
<b>V. Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XIV</b>
<b>VI. Formelverzeichnis</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Beschreibung der Methode zur Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln	1
1.2 Problemanalyse.....	4
1.3 Zieldefinition .....	5
1.4 Abgrenzung .....	6
<b>2 Literaturüberblick</b> .....	<b>8</b>
2.1 Semantische Harmonisierung.....	9
2.2 Geometrische Harmonisierung.....	11
2.3 Harmonisierung verteilter Geodaten .....	11
2.4 Zusammenfassung .....	12
<b>3 Grundlagen und Wahl der Arbeitsinstrumente</b> .....	<b>14</b>
3.1 Unsicherheiten in Geodaten .....	14
3.1.1 Geobjekte und Ihre unscharfen Eigenschaften .....	15
3.1.2 Qualitätsmerkmale von Geodaten .....	16

---

---

3.2	Lösungsansätze zur Berücksichtigung von Daten Unsicherheiten .....	17
3.2.1	Fuzzy-Mengen versus Probabilistische Aussagen.....	17
3.2.2	Grundlagen Fuzzy-Logik.....	18
3.3	Geodatennutzung aus verteilten Quellen .....	27
3.3.1	Hindernisse bei der Geodatennutzung aus verteilten Quellen .....	28
3.3.2	Lösungsansätze zur Geodatennutzung aus verteilten Quellen .....	29
3.4	Kartografische Modellbildung.....	31
3.5	Untersuchungsgebiet und Datengrundlagen .....	31
<b>4</b>	<b>Multiattributive Raumbewertung .....</b>	<b>36</b>
4.1	Bewertung der lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes .....	37
4.1.1	Modelldefinition eines unscharfen linienhaften Geoobjektes.....	41
4.1.2	Modelldefinition eines unscharfen flächenhaften Geoobjektes.....	43
4.1.3	Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches.....	44
4.1.4	Bewertung der Unscharfen räumliche Extension anhand benachbarter Geoobjekte.....	46
4.1.5	Aggregation der unscharfen lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen .....	49
4.2	Bewertung der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes .	50
4.2.1	Bewertung der thematischen Eigenschaft eines Geoobjektes.....	50
4.2.2	Bewertung der zeitlichen Eigenschaft eines Geoobjektes .....	53
4.2.3	Aggregation der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen .....	54
4.3	Gewichtung und Aggregation der Bewertungen zu einem Gesamtergebnis...	59

---

<b>5</b>	<b>Technische Umsetzung einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten .....</b>	<b>64</b>
5.1	Kartografisches Modell versus OGC-WMS.....	64
5.2	Technische Umsetzung der Bewertungen .....	68
5.3	Technische Umsetzung der Gesamtbewertung.....	69
<b>6</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>75</b>
7.1	Überprüfung der Zielstellung und Schlussfolgerung .....	75
7.2	Ausblick .....	78
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>79</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>86</b>
	A: Trainingsdaten des Neuro-Fuzzy-System.....	86
	B: Aktivitätsdiagramm .....	87

---

---

**I. Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

**Ludwigsfelde, am 30.06.2009**

---

**Dipl. Ing. (FH) Jens Krumpe**

---

**II. Sprachliche Gleichbehandlung der Geschlechter**

Um die Arbeit leserfreundlich zu gestalten, wurde auf eine durchgehende Nennung beider Geschlechter verzichtet. Wo nur die männliche oder weibliche Form verwendet wird, kann davon ausgegangen werden, dass immer auch das andere Geschlecht gemeint ist.

---

**III. Abkürzungsverzeichnis**

9IM	-----	9 Intersection Model
AAA®	-----	Datenmodell der Grunddatenbestände ATKIS®, ALKIS® und AFIS®
ALKIS®	-----	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS®	-----	Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem
BDLM	-----	ATKIS®-Basis-DLM
BMI	-----	Bundesministerium des Inneren
COG	-----	Center of Gravity (Defuzzifizierungsmethode)
COG	-----	Center Of Gravity (Defuzzifizierungsmethode)
CSW	-----	Catalogue Service for the Web
ESA	-----	European Space Agency
FRS	-----	Fuzzy-Regel-System
GDI-DE	-----	Geodateninfrastruktur Deutschland
GeoZG	-----	Geodatenzugangsgesetz
GIS	-----	Geografisches Informationssystem
GMES	-----	Global Monitoring for Environment and Security
INSPIRE	-----	Infrastructure for Spatial Information in Europe
ISO	-----	International Organisation for Standardisation
OSKA	-----	Objektschlüsselkatalog
PEC	-----	Predicted Environmental Concentration
PSM	-----	Pflanzenschutzmittel

---

RAC	-----	Regulatory Acceptable Concentration
SAGA	-----	Standards und Referenzarchitekturen
SLD	-----	Styled Layer Descriptor
SOA	-----	Service Oriented Architecture
WFS	-----	Web Feature Service
WMS	-----	Web Map Service

---

**IV. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Methodische Darstellung der Expositionsabschätzung von PSM an einem Gewässersegment. ....	2
Abbildung 2: Beschreibung der Landnutzung einer Region im ATKIS®-Datenmodell .....	4
Abbildung 3: Beschreibung der Landnutzung einer Region im ALKIS®-Datenmodell.....	4
Abbildung 4: Beschreibung der Landnutzung einer Region durch das Kataster der digitalen Feldblöcke.....	4
Abbildung 5: Beschreibung der Landbedeckung einer Region durch das Kataster der digitalen Landschaftselemente im Agrarraum .....	4
Abbildung 6: Workflow einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten .....	6
Abbildung 7: Entstehung von Unsicherheiten in Geodaten durch Datenmodellierung. Quelle: Longley, et al. (2001) .....	14
Abbildung 8: Darstellung der charakteristischen Funktion des Intervalls [2,3] am Mengenbeispiel „zumutbare Laufdistanzen“ .....	19
Abbildung 9: Darstellung der Fuzzy-Menge zur Beschreibung des unscharfen linguistischen Terms „zumutbare Laufdistanzen“.....	19
Abbildung 10: Allgemeine Einteilung der mehrstelligen Fuzzy-Operatoren .....	21
Abbildung 11: Architektur eines nicht geschlossenen Fuzzy-Regel-Systems .....	22
Abbildung 12: Darstellung der Elemente eines Kartografischen Modells .....	31
Abbildung 13: Darstellung der räumlichen Extension einer Baumreihe in der Realität.....	38
Abbildung 14: Darstellung der räumlichen Extension eines Geoobjektes mit der Bedeutung „Baumreihe“ nach der Modellierungsvorschrift X. ....	38
Abbildung 15: Darstellung der räumlichen Extension eines Geoobjektes mit der Bedeutung „Baumreihe“ nach der Modellierungsvorschrift Y. ....	38
Abbildung 16: Darstellung einer trapezförmigen Zugehörigkeitsfunktion eines unscharfen linienhaften Geoobjektes. ....	43

---

---

Abbildung 17: Darstellung einer trapezförmigen S-förmigen Zugehörigkeitsfunktion (S-Form) eines unscharfen flächenhaften Geoobjektes. ....	44
Abbildung 18: Darstellung der sekundären Erfassungsmethode eines Geoobjektes durch die Digitalisierung: Durch die Korrelation zwischen dem Erfassungsmaßstab und der zur Verfügung stehenden Informationsdichte entstehen Unschärfen in der lagebeschreibenden und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes .	44
Abbildung 19: Berücksichtigung der unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches (Vektor-Raster Konversion). ....	45
Abbildung 20: links: Beschreibung der Landnutzung einer Region durch Geoobjekte (BDLM). Quelle: WMS-Dienst des Bundesamts für Geodäsie und Kartografie, rechts: Überlagerung der Zugehörigkeitsfunktionen Unscharfer räumlicher Extensionen verschiedener Geoobjekte mit dem digitales Orthophoto. Quelle: WMS-Dienst (DOP) des Bundesamts für Geodäsie und Kartografie .....	47
Abbildung 21: Modellierung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes (4101) anhand seiner Nachbarn. Das Äquivalent im AAA® Datenmodell zur Objektart 4101 (BDLM) ist die Objektart 1010. ....	48
Abbildung 22: Darstellung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes (4101) in einer bestimmten Region. ....	48
Abbildung 23: Darstellung der Bewertungsaggregation der lagebeschreibenden Eigenschaft.	49
Abbildung 24: Darstellung der Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen (lineare Flanken) der unscharfen linguistischen Termen „wenig“, „hoch“ und „sehr hoch“ der Variablen „Ähnlichkeit“ .....	52
Abbildung 25: Darstellung der Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen (Glockenkurven-Form) der unscharfen linguistischen Termen „gering“, und „hoch“ der Variablen „Aktualität“. ....	53
Abbildung 26: Darstellung der Bewertungsaggregation der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften. ....	54
Abbildung 27: : Darstellung der dreidimensionalen Oberfläche des Stellgrößenberechnung mit der COG-Methode für ein FRS nach dem Ansatz von Mamdani (Systemparameter: Tabellen 15-17). ....	56

---

---

Abbildung 28: Differenzplot zwischen der Berechnung des Stellwert durch ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi und den dazugehörigen Trainingsdaten.....	57
Abbildung 29: Darstellung der dreidimensionalen Oberfläche des Stellgrößenberechnung für ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi (Systemparameter Tabellen 19-21). ....	59
Abbildung 30: Darstellung eines allgemeingültigen Berechnungsgraph einer Multiattributiven Raumbewertung mit n verschiedenen Datenquellen. ....	60
Abbildung 31: Darstellung des Berechnungsgraph einer beispielhafte Umsetzung einer Multiattributiven Raumbewertung mit zwei unterschiedlichen Geoobjekten im Kartografischen Modell. ....	63
Abbildung 32: Darstellung der Modellierung der Unscharfen räumlichen Extension mit Hilfe des SLD-Profiles eines WMS.....	65
Abbildung 33: Darstellung eines Sequenzdiagramms zur Berücksichtigung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes mit der Objektart 4101 (BDLM) anhand seiner Nachbarn. ....	68
Abbildung 34: Darstellung eines Gewässersegments.....	72
Abbildung 35: Darstellung eines Gewässersegments mit einer minimalen Distanz vom 3m zur Applikationsfläche (BDLM). ....	72
Abbildung 36: Darstellung eines Gewässersegments mit einer minimalen Distanz von 11m zur Applikationsfläche (Harmonisierte Datengrundlage).....	72
Abbildung 37: Metawissen des Neuro-Fuzzy-System, welches zur Anpassung des Fuzzy-Regel-System nach Sugeno/Takagi genutzt worden ist.....	86

---

---

**V. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Zusammenfassende Auflistung der expositionsrelevanten Parameter in Bezug eines Gewässersegmentes.....	1
Tabelle 2: Klassifikation der verschiedenen Arten der Unschärfe nach Jacobs (2006) .....	16
Tabelle 3: Untergliederung der Semantischen Unschärfe einer kognitiven Klasse nach Jacobs (2006).....	16
Tabelle 4: Matrix zur Qualitätsbewertung von Geodaten. Quelle: Veregin & Hargitai (1995)...	16
Tabelle 5: Fuzzifizierte Eingabedaten des fiktiven FRS nach Mamdani (zwei Eingangswerte)...	25
Tabelle 6: Schlussfolgerung/ Konklusion des fiktiven FRS nach Mamdani .....	26
Tabelle 7: Regelbasis des fiktiven FRS nach Mamdani.....	26
Tabelle 8: Fuzzifizierte Eingabedaten des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi.....	26
Tabelle 9: Schlussfolgerung/ Konklusion des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi.....	26
Tabelle 10: Regelbasis des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi .....	27
Tabelle 11: Gegenüberstellung der Ergebnisse des fiktiven FRS nach Mamdani und des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi.....	27
Tabelle 12: Probleme der Semantischen und Syntaktischen Heterogenität bei der Kombination verteilter Geodaten .....	29
Tabelle 13: Übersicht der verwendeten Geodaten für die prototypische Implementierung (Kapitel 5).....	32
Tabelle 14: Auszug aus der Datenbank, welche die Ähnlichkeitsmaße zwischen der Ziel-Landnutzung „Applikationsfläche“ und den differierenden Fachtermini persistent vorhält.....	52
Tabelle 15: Spezifikation von Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der fuzzifizierten Kriterien Ähnlichkeit und Aktualität für ein FRS nach dem Ansatz von Mamdani. ....	55
Tabelle 16: Spezifikation von Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der Schlussfolgerung/Konklusion für ein FRS nach dem Ansatz von Mamdani. ....	55

---

---

Tabelle 17: Spezifikation der Regelbasis des FRS nach dem Ansatz von Mamdani.....	55
Tabelle 18: Spezifikation von Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der fuzzifizierten Kriterien „Ähnlichkeit“ und „Aktualität“ für ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi. ....	58
Tabelle 19: Konstanten der Polynome 0ter Ordnung für die Schlussfolgerung/Konklusion für ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi. ....	58
Tabelle 20: Spezifikation der Regelbasis des FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi. ....	58
Tabelle 21: Auflistung der Eigenschaften zweier Geobjekte. ....	61
Tabelle 22: Darstellung der Bewertungen der lagebeschreibenden und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften einschließlich der Gesamtbewertung. Für die lagebeschreibenden Eigenschaften wurden die Parameter der Bewertungsfunktionen angegeben. ....	62
Tabelle 23: Eine vergleichende Analyse zwischen den Hauptelementen eines Kartografischen Modells sowie einem Web-Map-Service (WMS).....	64
Tabelle 24: Beschreibung der technischen Realisierung zur Extraktion der Eigenschaften von verteilten Geobjekten mit Geo-Web-Services. ....	70
Tabelle 25: Beschreibung der technischen Realisierung der Bewertungen der lagebeschreibenden und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften einschließlich der Gesamtbewertung. ....	70
Tabelle 26: Gegenüberstellung der Konzentrationen zwischen einer probabilistischen Expositionsabschätzung auf Basis des BDLM und einer harmonisierten Datengrundlage als Ergebnis einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten (BDLM, ALK, FE, LE).....	72
Tabelle 27: Statistische Kennwerte.....	73

---

---

**VI. Formelverzeichnis**

Formel 1: Definition einer Fuzzy-Menge.....	20
Formel 2: Definition der Zugehörigkeitsfunktion zur Fuzzy-Menge .....	20
Formel 3: Beschreibung einer trapezförmigen Fuzzy-Intervalls durch eine stückweise lineare Zugehörigkeitsfunktion.....	20
Formel 4: Beschreibung eines Fuzzy-Intervalls in Form einer Gaußschen Glockenkurve. ....	20
Formel 5: Definition eines alpha-Schnitts einer Fuzzy-Menge. ....	21
Formel 6: Träger oder Support einer Fuzzy-Menge.....	21
Formel 7: Toleranz einer Fuzzy-Menge.....	21
Formel 8: Definition der Durchschnittsmenge zweier Fuzzy-Mengen A UND B.....	22
Formel 9: Definition der Vereinigungsmenge zweier Fuzzy-Mengen A ODER B. ....	22
Formel 10: Definition der Komplementärmenge einer Fuzzy-Menge.....	22
Formel 11: Berechnung der Stellgröße des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi .....	27
Formel 12: Ermittlung der scharfen Stellgröße eines FRS nach Sugeno/Takagi.....	27
Formel 13: Definition einer Fuzzy-Menge als Layer im Kartografischen Modell.....	39
Formel 14: Definition eines unscharfen linienhaften Geoobjekts.....	41
Formel 15: Kombination der Längs- und Querzugehörigkeit zur Modellierung einer unscharfen linienhaften Objektgeometrie. ....	42
Formel 16: Berechnung der Zugehörigkeit zu einem unscharfen linienhaften Geoobjektes.....	42
Formel 17: Definition eines unscharfen flächenhaften Geoobjektes. ....	43
Formel 18: Definition der Zugehörigkeitsfunktion des unscharfen Rands eines Polygons. ....	43
Formel 19: Berechnung der Parameter für die Fuzzy-Menge zur Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches. ....	45
Formel 20: Berechnung der Unscharfen räumlichen Extension aufgrund $n$ Nachbarobjekte....	47

---

---

Formel 21: Aggregation zweier Bewertungen hinsichtlich der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes. ....	49
Formel 22: gewichtete Gesamtbewertung.....	59
Formel 23: Räumliche Aggregation der Gesamtbewertung .....	61

---

## 1 Einleitung und Problemstellung

Pflanzenschutzmittel (PSM) können auch bei bestimmungsgemäßer Anwendung in benachbarte oberflächennahe Gewässer gelangen. Um das sich daraus ergebende Risiko für Populationen von Nichtzielorganismen (z.B. Algen, Makrophyten, Wirbellose und Fische) abzuschätzen, werden die in den Gewässern erwarteten Konzentrationen „*Predicted Environmental Concentration, (PEC)*“ mit Effektkonzentrationen aus ökotoxikologischen Tests verglichen. Die Parameter für eine PEC-Abschätzung sind sowohl räumlich als auch zeitlich variabel. Mit Hilfe von Geografischen Informationssystemen (GIS), Geodaten sowie Methoden der Geoinformatik, kann die Variabilität der Landschaft in der Risikoabschätzung berücksichtigt werden. Dies ermöglicht eine realitätsnahe Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln. Mit der Risikoabschätzung wird das Ziel verfolgt, die chemische Gesamtbelastungssituation die sich durch PSM-Anwendungen ergibt, bundesweit im oberflächennahen Gewässerumfeld zu simulieren. Insbesondere werden kleine bis mittlere Fließgewässer betrachtet, da aufgrund der geringen Wassermenge pro Quadratmeter die höchsten Expositionskonzentrationen zu erwarten sind. Die Simulationsergebnisse stellen eine wichtige Grundlage für das nationale Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln dar.

### 1.1 Beschreibung der Methode zur Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln

Die Abschätzung der Expositionskonzentration erfolgt auf Basis eines probabilistischen Ansatzes für Drifteinträge aus Feld- und Raumkulturen, welche durch eine Monte-Carlo-Simulation realisiert wurde (Golla, Enzian, & Gutsche 2003), (Schulz et al. 2009). Die zum Anbau von Feld- und Raumkulturen notwendigen landwirtschaftlichen Nutzflächen werden nachfolgend als *Applikationsflächen* bezeichnet, da diese potenziell mit PSM befrachtet werden. Aus der Tabelle 1 gehen die expositionsrelevanten Parameter für die Monte-Carlo-Simulation hervor. Die Ableitung dieser Parameter erfolgt durch eine vorherige Analyse der im *ATKIS®-Basis-DLM (BDLM)* nachgewiesenen Landschaftselementen in Nachbarschaft eines Gewässersegmentes.

**Tabelle 1: Zusammenfassende Auflistung der expositionsrelevanten Parameter in Bezug eines Gewässersegmentes.**

Parameter	räumlicher Bezug	Parameter-Typ
Relative Lage und Ausrichtung zur Applikationsfläche	Ja	Verteilung

Parameter	räumlicher Bezug	Parameter-Typ
Gewässertyp	Ja	Einzelwert
Wasserspiegelbreite	Ja	Verteilung
Wassertiefe	Ja	Verteilung
Gewässerprofil	Nein	Einzelwert
Abdrift	Nein	Einzelwert
Windrichtung	Nein	Verteilung
abdriftmindernde Vegetation	Ja	Einzelwert

Für die Bundesweite Risikoabschätzung werden die im BDLM nachgewiesenen Fließgewässer (< 12[m] Breite) in 25 [m] Abschnitte segmentiert, d.h. zusammenhängende Gewässerläufe gleicher Objektart und Merkmalsausprägung<sup>2</sup> werden in Abschnitte gleicher Länge segmentiert. Verändert sich eine Merkmalsausprägung oder die Objektart innerhalb eines zusammenhängenden Gewässerlaufs, wird die Segmentierung für diesen Gewässerlauf wiederholt, um zu gewährleisten, dass die Parameter innerhalb eines Gewässerabschnitts konstant bleiben. Das letzte Gewässersegment eines Gewässerlaufs bildet die Restlänge von maximal 25 [m] Länge.

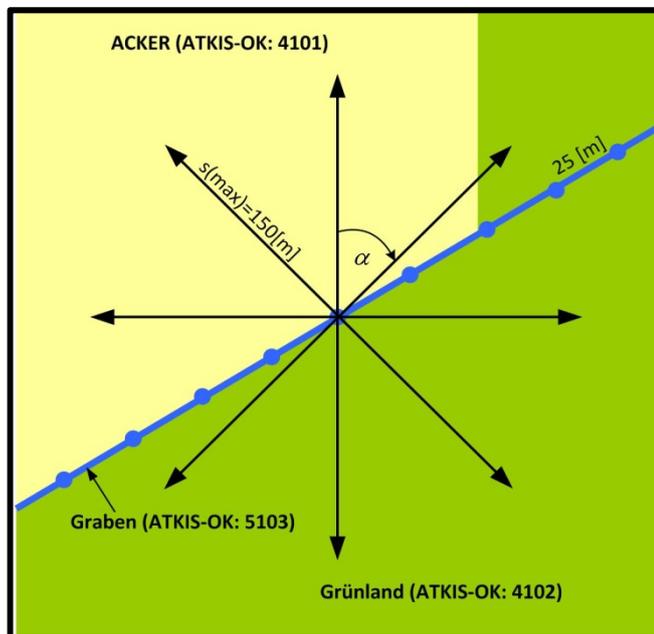


Abbildung 1: Methodische Darstellung der Expositionsabschätzung von PSM an einem Gewässersegment.

Der einzelne Gewässerabschnitt wird als zweidimensionales Punktobjekt in einer Geodatenbank gespeichert. Das Koordinatentupel<sup>3</sup> des Objektes repräsentiert die Lage, von dem aus ein Gewässerabschnitt mit seinen konstanten expositionsrelevanten Eigenschaften Gültigkeit hat. Der Gewässerabschnitt bildet das kleinste Element innerhalb des Verfahrens für die Expositionsabschätzung durchge-

<sup>2</sup> Eine gleiche Merkmalsausprägung zweier Geoobjekte liegt vor, wenn die Eigenschaften „Geographischer Name“, „Breite des Gewässers“, sowie das „Hydrologische Merkmal“ übereinstimmen.

<sup>3</sup> Ein Tupel bezeichnet eine geordnete Zusammenstellung von Objekten.

führt wird. Zur PEC-Abschätzung werden alle benachbarten Landschaftselemente eines Gewässerabschnitts in den 8 Haupt-Himmelsrichtungen betrachtet. Die Berechnung der relativen Lage und Ausrichtung der Landschaftselemente zum Gewässerabschnitt erfolgt durch die Schnittberechnung der einzelnen Strahlen der Haupt-Himmelsrichtungen mit den benachbarten Landschaftselementen. Die Schnittberechnung wird bis zu einer maximalen Entfernung von 150 [m] (theoretischer Driftbereich für Raumkulturen) durchgeführt. Die durch die Modellierung verursachte Abstraktion der Realität wird mit vorab festgelegten „Mindestdistanzen“ begegnet. Bei einer direkten Nachbarschaft eines Gewässersegments zu einem Acker ist eine Mindestdistanz von 3 [m] festgelegt worden.

### Beispiel

Aus der Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass die Distanz aus geometrischer Sicht, zwischen dem betrachteten Gewässersegment und dem Acker 0 [m] beträgt. Da ein Randstreifen zwischen der landwirtschaftlichen Nutzfläche und dem Gewässer nicht Gegenstand der ATKIS®-Modellierung ist, ist in diesem Fall eine Mindestdistanz von 3 [m] festgelegt worden. Für angrenzende Hecken, Wege etc. gibt es weitere projektinterne Festlegungen, welche im Zusammenhang dieser Arbeit eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Wahl der Segmentlänge von 25 [m] (vgl. Abbildung 1) berücksichtigt, dass durch den variierenden Abstand der Applikationsfläche zum Gewässer, auch die Expositionssituation des Gewässers variiert wird. Ebenso gewährleistet die Abschnittslänge eine rechentechnische Verarbeitung in praktikabler Rechendauer.

Wenn die Expositionskonzentration eines Gewässerabschnitts über einen toxikologisch vertretbaren Grenzwert „*Regulatory Acceptable Concentration, (RAC)*“ liegt spricht man von einem *Hot-Spot* ( $PEC > RAC$ ). Aufgrund ihrer toxischen Eigenschaft, insbesondere für aquatische Organismen, sind Hot-Spots zu vermeiden. Für die bundesweite Risikoabschätzung entscheidet schließlich das Verhältnis (Risikoindex) der Summe  $PEC > RAC$  (Hot-Spots) zur Summe  $PEC < RAC$  (kein Hot-Spot).

---

## 1.2 Problemanalyse

Bisher wurde das BDLM als einzige Datengrundlage genutzt. Aufgrund der starken Abstraktion des Modells werden, trotz Berücksichtigung der Modellabstraktion, häufig unrealistische Aussagen über die räumlichen Zusammenhänge zwischen den landwirtschaftlichen Nutzflächen und deren Nachbarschaft zum Oberflächengewässer getroffen. Aus der einführenden Beschreibung der Methodik ist zu entnehmen, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen der Existenz und Entfernung einer Applikationsfläche zu einem Oberflächengewässer und der abgeschätzten Expositionskonzentration PEC besteht. Folglich ist es anzustreben, fachübergreifende und verteilt vorliegende Geodaten (vgl. Abbildung 2 bis Abbildung 5) zur Landnutzung und Landbedeckung zusammenzuführen und miteinander zu kombinieren. Dies schafft einen Mehrwert hinsichtlich der Aussagesicherheit in der Datengrundlage. Die Heterogenität des gesamtdeutschen BDLM hinsichtlich der Datenqualität und -aktualität wurde durch Meinel, Knop, & Hecht (2008) festgestellt. Die daraus resultierenden Probleme wie Vergleichbarkeit und Aussagesicherheit können durch die Einbeziehung verteilt vorliegender Geodaten und einer regional differenzierteren Raumbewertung kompensiert werden. Die folgenden Wechselbeziehungen sollen den Mehrwert einer aussagesicheren Datengrundlage auf Basis fachübergreifender Landnutzungs- und Landbedeckungsbeschreibungen verdeutlichen.

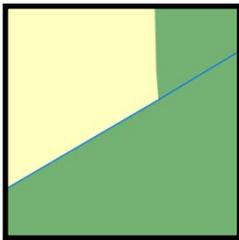


Abbildung 2: Beschreibung der Landnutzung einer Region im ATKIS®-Datenmodell

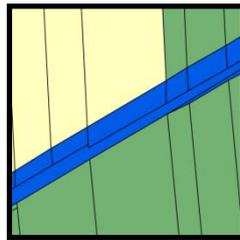


Abbildung 3: Beschreibung der Landnutzung einer Region im ALKIS®-Datenmodell

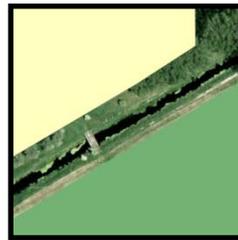


Abbildung 4: Beschreibung der Landnutzung einer Region durch das Kataster der digitalen Feldblöcke



Abbildung 5: Beschreibung der Landbedeckung einer Region durch das Kataster der digitalen Landschaftselemente im Agrarraum

- 1) Kann aufgrund einer regionalen Analyse von fachübergreifenden und verteilten Geodaten die Existenz einer Applikationsfläche ausgeschlossen werden, ist die Expositionskonzentration gleich null. Daraus folgt:

- Die Menge der HotSpots im gesamtdeutschen Raum verringert sich. Der Risikoindex der bundesweiten Risikoabschätzung schwächt ab.
  - Durch einen geringeren Risikoindex kann ein Pflanzenschutzmittel unter Umständen zugelassen werden. Dieser Zusammenhang ist aus Sicht der Industrie von besonderem Interesse.
- 2) Ändert sich die relative Lage einer Applikationsfläche zum Wasserkörper, ändert sich auch die Expositionskonzentration. Eine veränderte Expositionskonzentration kann sich positiv aber auch negativ auf die ökotoxikologische Bewertung eines betrachteten Gewässerabschnitts auswirken. Der Index der bundesweiten Risikoabschätzung verringert bzw. erhöht sich.

Eine realistische Risikoabschätzung ist in jedem Fall sinnvoll, um einerseits ein bundesweit hohes Schutzniveau zu erzielen sowie andererseits wirtschaftliche Interessen zu unterstützen. Eine realistische Risikoabschätzung kann durch die Verwendung von weiteren zur Verfügung stehenden Geodaten erfolgen.

### 1.3 Zieldefinition

Das Ziel einer „*Multiattributiven Raumbewertung*“ mit verteilten Geoinformationen (Abbildung 6) besteht darin, eine harmonisierte Datengrundlage einer bestimmten Landnutzung zu schaffen. Die Wahl der Landnutzung ist thematisch variabel zu gestalten. Dabei sollen verteilte- und fachübergreifende Geodaten anhand ihrer Eigenschaften bewertet und anschließend auf Grundlage festgelegter Kriterien miteinander kombiniert werden. Die harmonisierte Datenbasis, als Ergebnis einer Multiattributiven Raumbewertung, bildet dann die Grundlage einer erneuten Expositionsabschätzung von PSM. Eine erneute Expositionsabschätzung bezieht nun alle verfügbaren raumbezogenen Informationen mit ein. Mit diesem Vorgehen wird eine realistischere Expositionsabschätzung angestrebt. Damit verbunden, ist die steigende Akzeptanz des Verfahrens in Industrie und Verwaltung.

---



Abbildung 6: Workflow einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten

Wie bereits angemerkt, ist die Expositionskonzentration im oberflächennahen Gewässer hauptsächlich von der Lage einer benachbarten Applikationsfläche abhängig. Da die verteilt vorliegenden Landnutzungs- und Landbedeckungsbeschreibungen eine Momentaufnahme des jeweiligen Erhebungszeitpunkts sind, sind die folgenden Kriterien für eine harmonisierte Datengrundlage zu definieren:

- Die Datengrundlage muss eine bestimmte, thematisch festzulegende, Landnutzung widerspiegeln (Applikationsfläche).
- Die Datengrundlage gibt Auskunft über die geografische Lage und Ausdehnung (Extension) einer bestimmten Landnutzung.
- Die Aktualität der Datengrundlage muss dem Zeitpunkt der Simulation (Expositionsabschätzung) entsprechen.

#### 1.4 Abgrenzung

Der in Abbildung 6 dargestellte Prozess der „Dateneingabe“ gliedert sich in zwei Teilprozesse:

1. Exploration von Geodaten
2. Semantische Modelltransformation

Die Exploration von Geodaten kann durch eine katalogbasierte Suche realisiert werden. Die Suche wird durch spezielle *Geo-Web-Dienste*<sup>4</sup> technisch unterstützt. Hierfür kann der *Catalogue Service (CSW)* zukünftig dienen (OGC 2007a). Der Suchschlüssel basiert üblicherweise auf einem gemeinsamen Vokabular. Im Umweltbereich ist hierfür der GEMET<sup>5</sup> Thesaurus vorgesehen (EEA 2009). Eine präzisere Suche kann nach semantischen Kriterien erfolgen (Chen, Gong, & Chen 2007), (Grüttner, Bauer-Messmer, & Frehner 2008). Nachdem fachlich relevante Geodaten gefunden sind,

<sup>4</sup> Geo-Web-Dienste ermöglichen die Bereitstellung von Geodaten über standardisierte Schnittstellen im Internet.

<sup>5</sup> (GEMET): General Multilingual Environmental Thesaurus.

muss das zugrundeliegende Datenmodell syntaktisch und semantisch für das Zielmodell (Multiattributives Raumbewertungsmodell) interpretierbar sein. Einen Transformationsansatz, der zwischen verschiedenen Datenmodellen eine semantische Interoperabilität schafft, stellen Donaubauer et al. (2008) und Staub (2009) vor.

In dieser Arbeit wurden die zur Verfügung stehenden Geodatenressourcen und deren Datenmodelle (vgl. Abschnitt 3.5) als bekannt angenommen. Eine ad hoc Bewertung anderer Datenressourcen ist demzufolge nicht möglich und wäre in einem Bewertungsmodell zur Unterstützung politischer Entscheidungen diskussionswürdig. Insbesondere die Geodatenuche sowie eine anschließende Modelltransformation ist momentan noch Gegenstand universitärer Forschungsprojekte (HUMBOLDT, 2007).

Trotz des „Vorwissens“ über die zur Verfügung stehenden Geodatenressourcen kann der Arbeit die Praxistauglichkeit nachgewiesen werden, da geeignete Methoden für den Datenzugriff auf verteilte Geodaten angewandt wurden (vgl. Kapitel 5). Die bekannten Datenmodelle können hierbei auch als Ausgangsdatenmodell angesehen werden. Staub (2009) bezeichnet das Ausgangsdatenmodell als Zielmodell.

---

## 2 Literaturüberblick

Um langfristig präventiv den Schutz der Umwelt zu gewährleisten, wurde seitens der EU die Initiative GMES<sup>6</sup> zur globalen Umwelt- und Sicherheitsüberwachung ins Leben gerufen (COM 2004). Das wichtigste Ziel dieses Projektes ist die Nutzung aller umwelt-relevanten Informationen zur Entscheidungsunterstützung in Politik und Wissenschaft in Krisenfällen. Die vernetzte Nutzung thematisch differierender Umweltinformationen sowie die Harmonisierung von Datenmodellen hat somit erste Priorität.

In diesem Zusammenhang und unter Berücksichtigung der Zielstellung beschäftigen sich unmittelbar die folgenden EU-Projekte mit der Interoperabilität und Harmonisierung von Geodaten:

- Infrastructure for Spatial Information in Europe (*INSPIRE*) (EU 2007),
- Open Architecture and Spatial Data Infrastructure for Risk Management (*ORCHESTRA*) (ORCHESTRA 2008),
- *HUMBOLD* (HUMBOLD 2007).

Die EU-Rahmenrichtlinie INSPIRE zielt auf die harmonisierte Bereitstellung von relevanten Geodaten auf europäischer Ebene ab. HUMBOLD fokussiert auf die Entwicklung von IT-Lösungen mit dem Ziel, den Umgang mit Geodaten zu vereinfachen. Dazu gehören in erster Line auch die Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Geodatenharmonisierung und Service-Aggregationen. Das Projekt ORCHESTRA entwickelt auf Basis bestehender Standards eine *Dienste-Orientierte-Architektur (Service Oriented Architecture, SOA) zum Umwelt-Risiko-Management*. Anhand von Risikoszenarien, wie Erdbeben, Waldbrände etc., werden fehlende Standards eruiert und Neue zur Risikobewertung entwickelt. Die nachfolgenden Abschnitte setzen sich mit den bisherigen Forschungsarbeiten sowie den wissenschaftlichen Ergebnissen zum benannten Themenkreis auseinander. Die Literaturrecherche bezieht sich auf die folgenden drei Schwerpunkte:

- Ansätze zur semantischen Harmonisierung – Hierzu gehören wissenschaftliche Arbeiten und Ergebnisse, die sich mit der Informationsbedeutung von Geodaten befassen. Dabei fokussiert dieser Abschnitt auf die bisher entwickelten Methoden zur

---

<sup>6</sup> GMES (Global Monitoring for Environment and Security) ist eine gemeinsame Initiative der Europäischen Kommission und der europäischen Raumfahrtagentur ESA für Globale Umwelt- und Sicherheitsüberwachung.

---

---

Suche nach Geodaten sowie zur Entwicklung methodischer Ansätze zur Herstellung der thematischen Vergleichbarkeit (semantische Interoperabilität).

- Ansätze zur geometrischen Harmonisierung – Hierzu gehören wissenschaftliche Arbeiten und Ergebnisse, die sich mit der geometrischen Unsicherheit raumbezogener Objekte sowie ihrer Abbildung in Informationssystemen befasst.
- Integration und Analyse verteilter Geodaten – Hierzu gehört die Konsolidierung von existierenden Projekten, die eine Harmonisierung verteilter Geodaten unter Berücksichtigung geometrischer und semantischer Inkompatibilitäten berücksichtigen.

## 2.1 Semantische Harmonisierung

Chen, Gong, & Chen ( 2007) stellen zum Auffinden von Web-Map-Diensten eine intelligente Suchmaschine vor, die eine präzise Suche am Beispiel von WMS- Diensten im Internet ermöglicht. Erfolgreiche Treffer werden automatisch in einem Katalog (OGC, 2007) registriert und können somit Bestandteil einer Geodateninfrastruktur werden. Zur Exploration von Geodaten in Geodateninfrastrukturen, werden im Rahmen der INSPIRE-Arbeitsgruppen Durchführungsbestimmungen erarbeitet. Um semantische Interoperabilität zu erreichen, werden generische konzeptionelle Datenmodelle (Zielmodelle) sowie Metamodelle für den europäischen Handlungsraum der Datenanforderungen gemäß der INSPIRE- Rahmenrichtlinie erarbeitet. Dies hat zum Ziel, dass Geodaten eines jeden EU-Mitgliedsstaates nach den Anhängen I-III dieser Rahmenrichtlinie diesen konzeptionellen Datenmodellen unterliegen. Eine multilinguale Suche ist durch den GEMET Thesaurus möglich. Um Interoperabilität zwischen fachspezifischen Datenmodellen und den INSPIRE- Zielmodellen zu erreichen, sind Modelltransformationen notwendig. Den im Rahmen des ORCHESTRA Projekt (Usländer 2007) entwickelten Schematransformationsdienst ist eine mögliche Realisierung einer Modelltransformation (Friis-Christensen, Cao, & Quaglia 2007). Die Modellbeschreibung erfolgt in XML, wobei die eigentliche Transformation durch einen *SOAP-Web-Service* (W3C 2007) erfolgt. Die von Donaubaue, Straub, & Schilcher ( 2007) vorgestellte Methode stellt eine konkretisierende Realisierung einer webbasierten Modelltransformation dar (Donaubauer et al. 2008), (Staub 2009). Die zwei entscheidenden Arbeitsschritte, „Entwicklung eines Gemeinsamen Ziel Modells“ und „Datentransformation in das Zielmodell“

---

im Prozess einer Modelltransformation, werden auch im Jahresbericht des HUMBOLD-Projekts nachvollziehbar beschrieben (HUMBOLD, 2007).

Eine präzise Suche nach Geodaten wird im Allgemeinen durch Ontologie<sup>7</sup>-basierte Ansätze begegnet. Dieser Ansatz unter Nutzung standardkonformer Katalogdienste (OGC 2002a)) wird in (Bernard et al. 2003), (Klien et al. 2004) und (Lutz 2005) vorgestellt. Erste Nutzer-Erfahrungen im praktischen Einsatz einer ontologiebasierten Suche von Umweltdaten stellen Grüttner, Bauer-Messmer, & Frehner ( 2008) vor. Hierbei wird der zweigeteilte Ansatz, einer ersten Analyse des Suchterms und einer anschließenden Suche in den jeweiligen Datenquellen, kritisch diskutiert und mit anderen Ansätzen verglichen. In (Bauer-Messmer & Grüttner 2007) werden Ontologien für eine intuitive bilinguale semantische Suche ökologischer Daten verwendet. Der Suchalgorithmus selbst, wurde auf Basis fuzzylogischer Schlussfolgerungen entwickelt. Die Überwindung der semantischen Heterogenität mittels Ontologien in Geodateninfrastrukturen auf unterschiedlichen Ebenen wie Geodatenexploration oder Geodateninterpretation wird von Lutz ( 2008) vorgestellt.

Aufbauend auf die Abbildung einer formalen und allgemeingültigen Konzeptualisierung einer Entität (beispielsweise einer Landnutzungsklasse) durch Ontologien, zeigen die Projekte HarmonISA (Mandl 2006) sowie der DeCOVER Ausgangsdienst „Fortführung“ (DeCOVER, 2006) praktische Anwendungsfälle einer Harmonisierung von Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten. Im DeCOVER Ausgangsdienst werden zusätzlich geometrische Eigenschaften bei der Erstellung von Ontologien berücksichtigt. Um neben den semantischen Aspekten auch räumliche topologische Beziehungen bei einer Geodatensuche zu berücksichtigen, stellen (Goodwin 2005), (Grüttner & Bauer-Messmer 2007) und (Grüttner, Bauer-Messmer, & Hägeli 2008) die Kombination bisheriger Ansätze mit den *Region Connection Calculus (RCC)* vor.

Eine umfassende Begriffsdefinition und die Entwicklung von Ontologien behandeln Fonseca, Martin, & Rodriguez ( 2002)und Agarwal ( 2005). Beide Autoren gehen dabei auf die Besonderheiten im geografischen Kontext ein. Metternicht ( 1999) und Ahlqvist ( 2005) beschreiben die Verwendung von Fuzzy-Mengen und Fuzzy-Operationen zur Ähnlichkeitsbestimmung zeitlich differierender Landnutzungsaufnahmen durch Fern-

---

<sup>7</sup> „[...] an ontology defines a set of representational primitives with which to model a domain of knowledge or discourse. [...]“ (Gruber 2009)

erkundung. Weiterführende Algorithmen zur Ähnlichkeitsbestimmung im Kontext räumlicher Datenharmonisierung werden zusammenfassend in Rodriguez et al. ( 2005) und Fonseca, Rodriguez, & Levashkin ( 2007) abgehandelt.

## **2.2 Geometrische Harmonisierung**

Neben den Aspekten der thematischen Inkompatibilität, zum Beispiel durch Unsicherheit, muss bei einer Kombination verschiedener Datenquellen in einem GIS, auch die geometrische Unsicherheit berücksichtigt werden (Shyllon 2001). Ein hybrides Datenmodell stellen Fritsch et al. ( 1998) vor, welches die thematische und geometrische Unsicherheit bei Raster- und Vektordaten abbilden kann. Zur Modellierung der geometrischen Unsicherheit von Geodaten verwenden Fritsch et al., Glemser ( 2001), Wang & Hall ( 1996) und Joos ( 2001) unscharfe Punktmengen als Resultat einer Fuzzifizierung von geometrischen Primitiven (Punkt, Linie, Polygon). Schneider ( 1996), Keller & Gnägi ( 2001) und Tang ( 2004) stellen Methoden zur objektorientierten Modellierung unscharfer Geodaten vor. Tang, Erwig & Schneider ( 1997) und Schneider ( 2001) untersuchen weiterhin die topologischen Beziehungen und Analysemöglichkeiten zwischen unscharfen Geoobjekten. In der Dissertation von Kampshoff ( 2005) „Integration heterogener raumbezogener Objekte aus fragmentierten Geodatenbeständen“ wird vorrangig die geometrische Integration angesprochen und mit geodätischen Methoden begegnet. Kampshoff berücksichtigt wie Mustière ( 2006) auch die topologischen Bedingungen bei der geometrischen Integration verteilter Geodaten.

## **2.3 Harmonisierung verteilter Geodaten**

Cobb et al. ( 1998) entwickelten ein regelbasiertes System zur Verschmelzung attributierter Geodaten. Auch Goesseln & Sester ( 2003) sowie Butenuth et al. ( 2007) stellen im Zusammenhang einer Landnutzungsänderungsanalyse einen Algorithmus vor, wie Vektordaten differierender Kataloge geometrisch und semantisch harmonisiert werden. Als Anwendungsbeispiel werden dabei sowohl die Vektor-Vektor als auch die Vektor-Raster Datenintegration angesprochen.

Im Fall, dass die Datenbedeutung und das zugrunde liegende Datenmodell bekannt ist, stellen Baltensweiler & Brändli ( 2004) und Frehner & Brandli ( 2006) einen generischen Ansatz zur räumlichen Datenanalyse und -verarbeitung verteilter Umweltdaten

---

gleicher Maßstabsskalen vor. Auch die geometrische Integration und Adaption zwischen heterogenen vektororientierten Datenbeständen wie von Sester, Kieler, & Gössele (2007) beschrieben, setzt gleiche Maßstabsskalen voraus.

## 2.4 Zusammenfassung

Die Vielzahl der Publikationen zeigt, dass die Thematik der interoperablen Nutzung von heterogenen Geodaten einen hohen Stellenwert in der Geoinformatik hat. Einen praxiserprobten Arbeitsfluss von der semantischen Suche bis zur automatischen Integration von Geodaten in ein räumliches entscheidungsunterstützendes System existiert bislang noch nicht (Januar 2009). Die bisherigen Ansätze der semantischen Harmonisierung von Geodaten sind sehr spezialisiert und auf konkrete Probleme bezogen. Wiederverwendbare und allgemeingültige Konzepte in Bezug auf Methodik und Technik, sind nur auf einer hohen Abstraktionsebene zu finden. Hierzu gehört die von vielen Autoren vorgeschlagene Verwendung von Ontologien zur formalen Beschreibung von Geodaten. Dadurch kann die semantische Bewertung von Suchtermen bei der Exploration von Geodaten, aber auch eine Landnutzungsänderungsanalyse realisiert werden. Je nach Anwendungsfall differieren die zur Erstellung von Ontologien notwendigen Konzepte, Relationen, Funktionen und Axiome stark in ihrer Komplexität.

Bei der Betrachtung der zeitlichen Reihenfolge und des Inhalts der verwendeten Literaturquellen ist festzustellen, dass aktuelle Publikationen einen Schwerpunkt auf IT-Standards legen. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass Standardisierungsgremien, wie ISO®, OGC®, W3C®, aber auch durch die INSPIRE –Rahmenrichtlinie zu erarbeitenden harmonisierten Geodaten-Spezifikationen zukünftig einen großen Beitrag zur Semantischen Interoperabilität leisten werden. Einen Ansatz dazu liefert Staub (2009) in seiner Dissertation. Die Modellierung der geometrischen Unsicherheit für raumanalytische Modelle wird von vielen Autoren als nutzbringend eingeschätzt. Dabei wurde überwiegend die Nutzung der Fuzzy-Logik untersucht.

Die bisherigen Ansätze zur Integration von Geodaten aus unterschiedlichen Quellen setzen aber einen einheitlichen Maßstab voraus (Cobb et al. 1998), (Butenuth et al. 2007). Auch die von Donaubauer, Straub, & Schilcher (2007) vorgeschlagene Modelltransformation kann, aufgrund der speziellen Merkmale von Geodaten, nur einen gleichen Maßstab zwischen Start- und Zielmodell berücksichtigen. Der Kern der fol-

---

---

genden Abschnitte beschäftigt sich auch mit der Antwort, wie Geodaten unterschiedlicher Maßstabsskalen sinnvoll miteinander kombiniert werden können.

### 3 Grundlagen und Wahl der Arbeitsinstrumente

Die in diesem Kapitel beschriebenen Methoden und Werkzeuge stellen die Grundlage für die Kapitel 4 und 5 dar. Auf weiterführende Literatur wird in den einzelnen Abschnitten verwiesen.

#### 3.1 Unsicherheiten in Geodaten

Geodaten aus verteilten Quellen weisen verschiedenste Maßstabsebenen auf. Weiterhin differieren die Themen der Daten stark. Auch die Datenmodelle und die damit verbundenen Abstraktionen der Realität sind unterschiedlich. Dies ist damit zu begründen, dass Geodaten üblicherweise organisations- und aufgabenbezogen erfasst werden. Das bedeutet, dass diese Daten einzelne Anwendungen einer bestimmten Fachdisziplin (Domäne) in einer Organisation unterstützen. Um verteilt vorliegende und heterogene Geodaten miteinander zu kombinieren, müssen deren Unsicherheiten in den lage- und den nicht lagebeschreibenden Eigenschaften berücksichtigt werden.

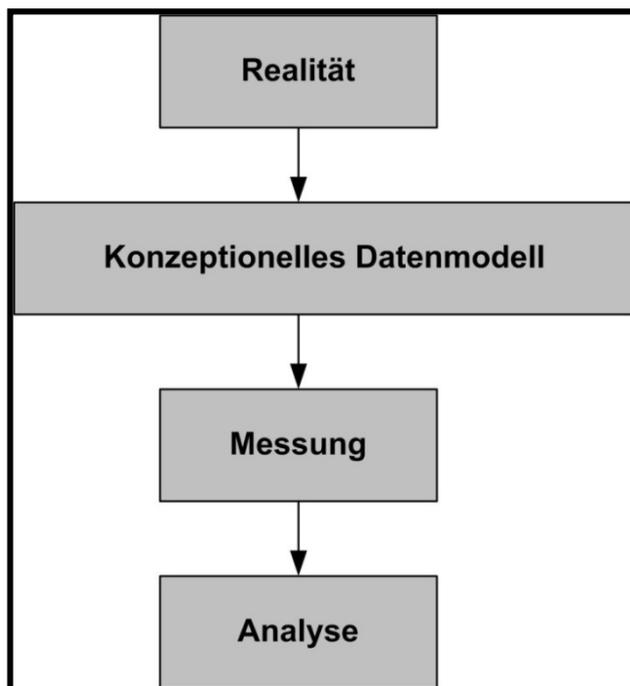


Abbildung 7: Entstehung von Unsicherheiten in Geodaten durch Datenmodellierung. Quelle: Longley, et al. (2001)

Die Abbildung 7 zeigt die Entstehung von Unsicherheiten in Geodaten. Generell ist jedes Geoobjekt, bedingt durch die Datenmodellierung<sup>8</sup>, mit Unsicherheiten behaftet. Auch David, Herrewegen, & Salge (1996) benennen die Datenmodellierung als Hauptursache zur Entstehung von Unsicherheiten. Der Oberbegriff „Unsicherheit“ wird in der Geoinformatik im Allgemeinen als Differenzmaß zwischen Abbildung und Realität verstanden. Zhang & Goodchild (

2002) unterscheiden zwischen Fehler, Zufall und Unschärfe als Spezialisierung des

<sup>8</sup> Die Datenmodellierung beschreibt die Abbildung (Datenmodell) der Realität auf Strukturen und Prozesse eines Informationssystems. Ein Datenmodell ist stets eine Vereinfachung oder Abstraktion der Realität. Folglich ist die Entstehung von Unsicherheit im Prozess der Vereinfachung zu suchen.

Oberbegriffs „Unsicherheit“. Die Berücksichtigung der Unschärfe kann sowohl für die Eigenschaft der Lage als auch für die Thematik eines Geobjektes erfolgen (Wang & Hall 1996).

### 3.1.1 Geobjekte und Ihre unscharfen Eigenschaften

Zur Beschreibung der geometrischen Eigenschaften eines Geobjektes werden im Vektordatenmodell primitive Datentypen wie Punkt, Linie oder Polygon verwendet (ISO, 2003). Nach dem *9-Intersection-Modell (9IM)* definiert man für jeden geometrischen Datentyp die folgenden drei Bereiche (Egenhofer & Franzosa 1991):

1. den Rand einer Geometrie,
2. das Innere einer Geometrie,
3. sowie das Äußere einer Geometrie.

Um beispielhaft die Landnutzungsfläche „Acker“ als Geobjekt zu modellieren, würde man zur Beschreibung der geometrischen Eigenschaft des Objektes den Datentyp „Polygon“ vorziehen. Demzufolge besitzt das Innere des Polygons die Eigenschaft „Acker“. Das Äußere des Polygons besitzt die Eigenschaft „kein Acker“. Die Trennung zwischen „Acker“ und „kein Acker“ erfolgt abrupt durch den Randbereich des Polygons. Die Ausdehnung des Flächenobjektes „Acker“ ist fest durch die „scharfe“ Begrenzung des Polygons definiert. Sowohl Mark & Csillag (1989) als auch Wang & Hall (1996) verweisen auf die geometrische Unschärfe in dem Randbereich. Die Existenz der Unschärfe im Randbereich ist damit zu begründen, dass eine Änderung der Landnutzung in der Regel als kontinuierliche (graduelle) Abnahme landnutzungsprägender Merkmale einer Klasse sowie die Zunahme landnutzungsprägender Merkmale einer anderen Klasse beschrieben werden kann. Die räumliche Ausdehnung des „Ackerobjektes“ unter Berücksichtigung der graduellen Merkmalseigenschaft des geometrischen Bereichs „Rand“ ist dann „unscharf“ definiert. Nach Jacobs (2006) wird im Folgenden der Begriff *Unschärfe räumliche Extension* eingeführt.

Die thematische Unsicherheit wird vorrangig durch Unschärfe in den Dateninformationen (Jacobs 2006) sowie durch den Prozess der Datenklassifikation (Fritsch et al. 1998) hervorgerufen.

---

Tabelle 2: Klassifikation der verschiedenen Arten der Unschärfe nach Jacobs (2006)

Art der Unschärfe	Erklärung
Informationelle Unschärfe	Informationelle Unschärfe besteht bei einer unbefriedigenden aber prinzipiell nicht verbesserbaren Informationslage.
Intrinsische Unschärfe	Intrinsische Unschärfe liegt vor, wenn ein Konzept oder eine Begrifflichkeit nicht verbindlich definiert wurde. Meist ist die Intrinsische Unschärfe ein Ausdruck menschlicher Erfahrung, beispielsweise „großes Auto“ oder „wenig Erfahrung“.

„Die Beschreibung der Thematik erfolgt durch Attribute, die entweder diskrete oder kontinuierliche Werte annehmen können.“ (Fritsch, Glemser, Klein, Sester, & Strunz 1998). Zur Festlegung des Attributtyps und des Attributwertes müssen die verfügbaren Dateninformationen klassifiziert werden. Dabei können bereits die Dateninformationen (vgl. Tabelle 2) Unschärfe aufweisen. Die Klassifikation unter Verwendung verschiedener Skalenniveaus, wie Nominalskalen, Ordinalskalen, Intervallskalen ist mit Unsicherheiten verbunden. Sowohl die Definition der Klassen (endliche Klassenanzahl) als auch die Einordnung der Objektzugehörigkeit in eine bestimmte Klasse ist nicht eindeutig bestimmbar. Den Begriff, *Semantische Unschärfe einer kognitiven Klasse*, führt Jacobs (2006) für eine nicht eindeutige Klassenzugehörigkeit ein. Die Semantischen Unschärfe einer kognitiven Klasse ist ebenfalls ein Oberbegriff und wird in der Tabelle 3 spezifiziert.

Tabelle 3: Untergliederung der Semantischen Unschärfe einer kognitiven Klasse nach Jacobs (2006)

Art der Unschärfe	Erklärung
Graduelle semantische Unschärfe einer kognitiven Klasse	Merkmalsbestimmende Attributsausprägungen einer Objektklasse können nur zu einem bestimmten Grad erfüllt werden.
Semantischer Vagheit einer kognitiven Klasse	Die Menge merkmalsbestimmender Attributsausprägungen einer Objektklasse ist nicht genau festgelegt (unscharf).

### 3.1.2 Qualitätsmerkmale von Geodaten

Um eine sinnvolle Integration von unterschiedlichen Geodaten in räumliche entscheidungsunterstützende Systeme zu ermöglichen, sind ihre Unsicherheiten zu berücksichtigen. Dies kann aber nur durch die Kenntnis zusätzlicher qualitätsbeschreibender Eigenschaften geschehen.

Tabelle 4: Matrix zur Qualitätsbewertung von Geodaten. Quelle: Veregin & Hargitai (1995)

	Raum	Zeit	Thema
Genauigkeit			
Auflösung			

	Raum	Zeit	Thema
Vollständigkeit			
Konsistenz			

Aus der Erkenntnis, dass Geoobjekte einen räumlichen Bezug, einen zeitlichen Bezug sowie einen thematischen Bezug aufweisen, wurden die qualitätsbestimmenden Angaben Genauigkeit, Auflösung, Vollständigkeit und Konsistenz nach Veregin & Hargitai (1995) in einer Matrix zur Qualitätsbewertung (vgl. Tabelle 4) zusammengestellt. Die in dieser Matrix aufgeführten Angaben finden sich auch als Standard in der ISO<sup>®</sup> wieder (ISO, 2003).

Zusammenfassend betrachtet, ist die Existenz qualitativer Beschreibungen eines Geoobjektes in Bezug auf die Datenverwendung unbedingt erforderlich.

Ein pragmatischer Ansatz zur Berücksichtigung von Unschärfe in den Merkmalsdimensionen Raum, Zeit und Thematik eines Geoobjektes, wird im Kapitel 4 erarbeitet. Die hierfür notwendigen Grundlagen werden in den nachfolgenden Abschnitten aufgezeigt. Das Kapitel 5 widmet sich der technischen Umsetzung unter Berücksichtigung moderner Datenzugriffsmethoden in Form von Geo-Web-Diensten.

## 3.2 Lösungsansätze zur Berücksichtigung von Daten Unsicherheiten

### 3.2.1 Fuzzy-Mengen versus Probabilistische Aussagen

Probabilistische Aussagen geben die Wahrscheinlichkeit an, wann ein bestimmtes Ereignis mit welcher Unsicherheit eintritt. Es kann also, in Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit, nicht sicher angegeben werden ob ein Ereignis eintritt. Das Ereignis selbst ist klar definiert (von Altröck 1993).

Fuzzy-Mengen beschreiben die Unsicherheit gegenüber der Ereignisdefinition. Die Elemente einer Fuzzy-Menge können zu einem gewissen Zugehörigkeitsgrad auch anderen Mengen angehören.

Die Aussage „Wer viel isst wird dick“ beschreibt zwei unsichere Ereignisse nämlich „viel essen“ und „dick werden“.

Unter „viel essen“ versteht der Laie unter Umständen dass, was ein Mediziner unter „sehr viel essen“ versteht. Um diese lexikalische Unsicherheit mathematisch zu be-

schreiben, stellen Fuzzy-Mengen ein probates Mittel dar. Die Schlussfolgerung „dick werden“ erhält man durch die Anwendung der Fuzzy-Logik.

Ein anderes Beispiel ist die Aussage: „Wenn die thematische Ähnlichkeit eines flächenhaften Geoobjektes zu dem Konzept einer Applikationsfläche hoch ist und das Geoobjekt in der Entstehung aktuell ist, dann spiegelt das Geoobjekt mit hoher Zugehörigkeit die momentane Landnutzung als Applikationsfläche wider“.

Dabei ist die Applikationsfläche unscharf definiert. Die Unschärfe kann durch ein Ähnlichkeitsmaß zu einem beliebigen Datensatz (Geoobjekt) ausgedrückt werden. Die Berechnungsmöglichkeiten eines Ähnlichkeitsmaßes zwischen zwei Landnutzungstypen wurden im Abschnitt 2.1 bereits angesprochen.

Demnach sind probabilistische Ansätze geeignet, um Unsicherheiten und Zufälle in einem System zu berücksichtigen. Fuzzy-Mengen und die Fuzzy-Logik berücksichtigen die Unschärfe von Ereignissen sowie das Schlussfolgern aus unscharfen Ereignissen. Somit stehen beide Theorien zur Behandlung von Unsicherheiten nicht im Wettbewerb zueinander, sondern ergänzen sich sinnvoll (Kosko 1990), (Zadeh 1995).

### **Fazit**

Im Abschnitt 3.1.1 wurde festgestellt, dass Geodaten sowohl der informationellen, der intrinsischen aber auch der semantischen Unschärfe unterliegen können. Aufgrund der Gegenüberstellung von probabilistischen Ansätzen mit der Fuzzy-Logik muss bei einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten auf die Fuzzy-Logik zurückgegriffen werden. Dies betrifft einerseits die lagebeschreibenden- und andererseits die nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes.

### **3.2.2 Grundlagen Fuzzy-Logik**

Im Abschnitt 3.1.1 wurde bereits erwähnt, dass im Prozess der Datenmodellierung die graduelle Abnahme bzw. Zunahme von landnutzungsbeschreibenden Informationen bei der Objektmodellierung nicht berücksichtigt werden. In der Regel wird zwischen benachbarten Geoobjekten eine scharfe Grenze gezogen. Eine solche Modellierung gehorcht dem Zweitwertigkeitsprinzip:

---

Ein Element ist entweder in der Menge des Vegetationstyps  $A$  enthalten oder nicht. Diese Aussage kann wahr oder falsch sein. Mathematisch betrachtet, handelt es sich hierbei um die klassische Mengenlehre. „[...] Dieses Prinzip spiegelt sich formal in den Symbolen  $\in$  und  $\notin$  bzw. in den binären Werten 1 und 0 der Zugehörigkeitsfunktion  $\mu(x)$  wider. [...]“ (Kahlert 1995). Um die Unschärfe in der Vegetationsausprägung zu berücksichtigen, sind unscharfe Mengen vorzuziehen. Diese bieten den Vorteil, dass beispielsweise eine Vegetationsausprägung zu einem „gewissen Grad“ einer Menge  $A$  aber auch zu einem „gewissen Grad“ einer Menge  $B$  zugehörig ist. Das Prinzip von unscharfen Mengen (Fuzzy-Sets) ist erstmals von Zadeh (1965) vorgestellt worden. Fuzzy-Mengen eignen sich hervorragend, um unscharfe umgangssprachliche Werte die im Folgenden *unscharfe linguistische Terme* genannt werden, abzubilden (Zadeh 1975). Die zu den unscharfen linguistischen Termen dazugehörige physikalische Größe wird als *unscharfe linguistische Variable* bezeichnet. Die Abbildung 8 zeigt eine scharfe-, die Abbildung 9 eine unscharfe Menge für die fiktive linguistische Variable „Laufdistanz“. Dass eine Laufdistanz zwischen 2-3 [km] zumutbar ist, ist aus beiden Modellen zu entnehmen. Der Unterschied ist in der in Abbildung 9 zu erkennen. Die Darstellung zeigt eine Fuzzy-Menge, die die Auffassung von manchen Personen beschreibt, dass die Ausprägung des unscharfen linguistischen Terms „zumutbar“ zwischen 1.75 [km] und 3.75 [km] liegt. Die sich daraus ergebene Zugehörigkeitsfunktion kann beispielsweise aus einer empirischen Studie abgeleitet werden.

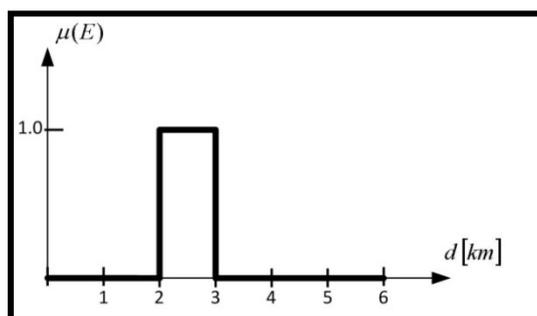


Abbildung 8: Darstellung der charakteristischen Funktion des Intervalls [2,3] am Mengenbeispiel „zumutbare Laufdistanzen“.

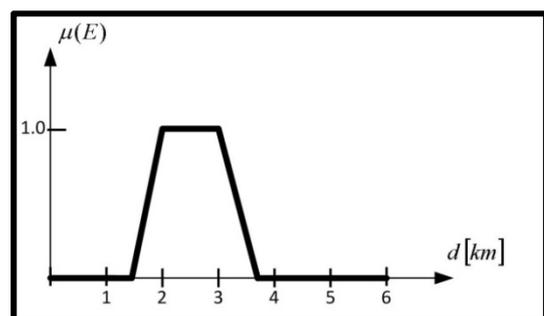


Abbildung 9: Darstellung der Fuzzy-Menge zur Beschreibung des unscharfen linguistischen Terms „zumutbare Laufdistanzen“.

Das Fachgebiet der Fuzzy-Logik ist zu komplex, um es in diesem Abschnitt in der notwendigen Tiefe vorzustellen. Der nachfolgende Absatz stellt die wichtigsten Grundlagen im Zusammenhang dieser Arbeit vor. Die hierfür genutzte Literatur von Zimmer-

mann ( 2001), Kahlert ( 1995), Nauck et al. ( 2003) und Sivanandam, Sumathi, & Deepa ( 2007) eignet sich für weiterführende Informationen auf dem Gebiet der Fuzzy-Logik.

Die allgemeine unscharfe Menge  $M$  kann wie folgt beschrieben werden:

$M = \{(x, \mu_M(x)) \mid x \in X\}$	<b>Formel 1: Definition einer Fuzzy-Menge</b>
--------------------------------------	---

Die Abbildung:

$\mu_M : X \rightarrow [0,1]$	<b>Formel 2: Definition der Zugehörigkeitsfunktion zur Fuzzy-Menge.</b>
-------------------------------	---

Wird als Zugehörigkeitsfunktion von  $M$  bezeichnet. Sie ordnet jedem Element  $x$  der Grundmenge  $X$  den Zugehörigkeitsgrad  $\mu_M(x)$  zu. Ein einzelnes Wertepaar  $(x, \mu_M(x))$  wird als Singleton bezeichnet.

Die Grundmenge  $X$  ist stets eine klassische, scharfe Menge. Die Zugehörigkeitsfunktionen können unterschiedlich definiert sein. Zugehörigkeitsfunktionen mit linearen Flanken, bieten im Gegenteil zu ihren nicht linearen Vertretern, Vorteile hinsichtlich der benötigten Rechenzeit und Speicherplatz. Zu den Zugehörigkeitsfunktionen mit linearen Flanken gehören dreiecksförmige- oder trapezförmige Fuzzy-Intervalle. Ein trapezförmiges Fuzzy-Intervall  $(e, f, g, h)_T$  kann beispielsweise mit der Zugehörigkeitsfunktion (vgl. Formel 3) beschrieben werden. Ein Beispiel einer nicht linearen Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktion ist die Form einer Glockenkurve  $(c, \sigma)_G$  (vgl. Formel 4).

$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } x < e \text{ oder } x > h \\ \frac{x-e}{f-e} & \text{für } e \leq x \leq f \\ 1 & \text{für } f < x < g \\ \frac{x-h}{g-h} & \text{für } g \leq x \leq h \end{cases}$	<b>Formel 3: Beschreibung einer trapezförmigen Fuzzy-Intervalls durch eine stückweise lineare Zugehörigkeitsfunktion</b>
$\mu_M(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$	<b>Formel 4: Beschreibung eines Fuzzy-Intervalls in Form einer Gaußschen Glockenkurve.</b>

Komplexe Zugehörigkeitsfunktionen können durch Ihre  $\alpha$ -Schnitten approximiert werden, was sich zur Beschleunigung der Rechendauer bei komplexen Simulationen als

vorteilhaft erwiesen hat. Ein  $\alpha$ -Schnitt beschreibt die Menge jener Elemente, deren Grad der Zugehörigkeit größer oder gleich einem Wert  $\alpha$  ist.

$\mu_\alpha = \{ x \in X \mid \mu_M(x) \geq \alpha \}$	<b>Formel 5: Definition eines alpha-Schnitts einer Fuzzy-Menge.</b>
--	---

Wichtige Kenngrößen einer Fuzzy-Menge ist der Support/Träger  $S$  und die Toleranz  $T$  (vgl. Formel 6 und Formel 7).

$S(M) = \{ x \in X \mid \mu_M(x) > 0 \}$	<b>Formel 6: Träger oder Support einer Fuzzy-Menge</b>
$T(M) = \{ x \in X \mid \mu_M(x) = 1 \}$	<b>Formel 7: Toleranz einer Fuzzy-Menge</b>

Die bei der klassischen Mengenlehre existierenden Operatoren, wie Schnitt, Vereinigung und Komplementärbildung, können auch auf Fuzzy-Mengen angewendet werden. Zu diesen Operatoren existieren die unterschiedlichsten mathematischen Realisierungen. Diese werden unter der allgemeinen Bezeichnung  $T$ -Normen und  $S$ -Normen ( $T$ -Conormen) zusammengefasst. Es existieren auch kompensatorische Fuzzy-Operatoren. Kompensatorische Fuzzy-Operatoren sind das fuzzylogische Pendant zum klassischen Mittelwert. Die allgemeine Einteilung der mehrstelligen Operatoren beziehungsweise Aggregationsoperatoren kann aus der Abbildung 10 entnommen werden.

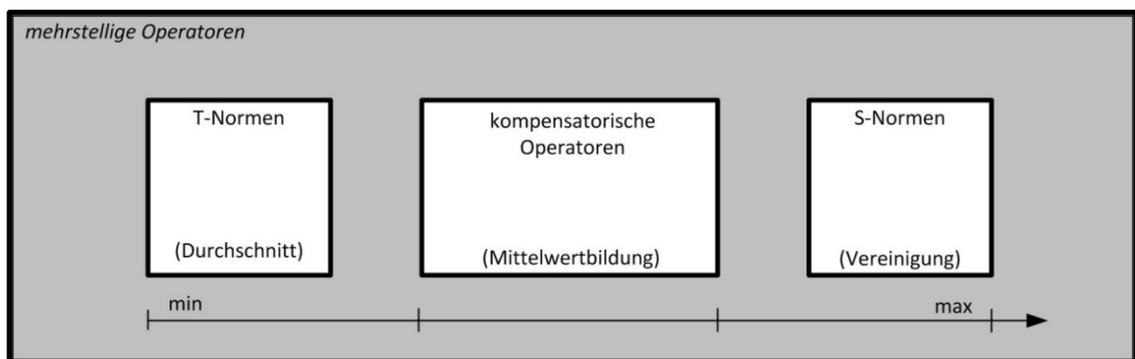


Abbildung 10: Allgemeine Einteilung der mehrstelligen Fuzzy-Operatoren

Trotz den unterschiedlichen Realisierungen der  $T$ -Normen und  $S$ -Normen verhalten sich alle Operatoren im Fall klassischer scharfer Mengen denen der binären Logik. Die Durchschnittsbildung („UND“- Verknüpfung) zweier Fuzzy-Mengen kann durch die  $T$ -Normen realisiert werden. Für eine „ODER“- Verknüpfung stehen die  $S$ -Normen zur Verfügung. Die häufigste verwendete Realisierung ist das *Minimum* für die „UND“ Verknüpfung sowie das *Maximum* für die „ODER“ Verknüpfung zweier Fuzzy-Mengen.

$A \cap B = \text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(x))$	Formel 8: Definition der Durchschnittsmenge zweier Fuzzy-Mengen A UND B.
$A \cup B = \text{MAX}(\mu_A(x), \mu_B(x))$	Formel 9: Definition der Vereinigungsmenge zweier Fuzzy-Mengen A ODER B.
$\mu_A^c(x) = 1 - \mu_A(x)$	Formel 10: Definition der Komplementärmenge einer Fuzzy-Menge

In vielen industriellen Anwendungsbereichen, insbesondere in der Regelungstechnik, basiert die technische Basis auf ein *Fuzzy-Regel-System (FRS)*.

Einen Einblick über die historische Entwicklung von Fuzzy-Regel-Systemen in den verschiedensten industriellen Anwendungsbereichen, gewährt das Kapitel „Die doppelte Weltreise der Fuzzy Logic“ des Buches von Constantin von Altröck (von Altröck 1993).

Ein FRS hat den Vorteil, verbal beschriebenes Expertenwissen in Regeln abzubilden. Diese Technik kann genutzt werden, wenn mathematische Zusammenhänge unzureichend geklärt sind. Die Architektur eines Fuzzy-Regel-Systems kann aus der Abbildung 11 entnommen werden. Oftmals beschreibt die Architektur auch einen geschlossenen Regelkreis. Eine Regel wie „WENN  $x = A$  DANN  $y = B$ “ besteht aus mindestens einer Prämisse/Bedingung  $x = A$  und einer Schlussfolgerung/Konklusion  $y = B$ . Der unscharfen linguistischen Variablen  $x$  wird in diesem Beispiel der unscharfe linguistische Term  $A$  zugeordnet. Die einzelnen Komponenten eines FRS werden im Folgenden beschrieben:

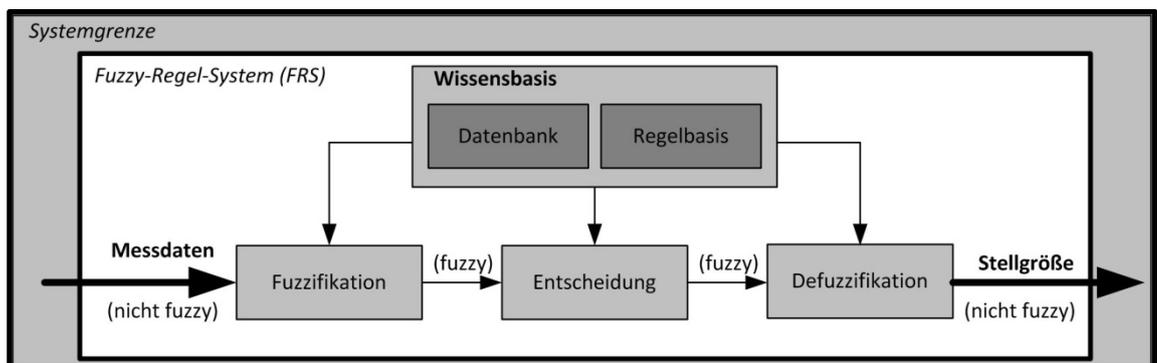


Abbildung 11: Architektur eines nicht geschlossenen Fuzzy-Regel-Systems

### Eingabekomponente

Die Eingabekomponente übermittelt die „scharfen“ Eingangsdaten (Messwerte) dem FRS.

---

**Fuzzifikationskomponente**

Die „scharfen“ Eingangsdaten werden in unscharfe linguistische Terme der dazugehörigen Variablen transformiert. Die Transformationsvorschrift zwischen den „scharfen“, Eingangsdaten und den unscharfen linguistischen Termen kann einer Datenbasis entnommen werden.

**Komponente der Wissensbasis**

Für das Design eines FRS (beispielsweise das Aufstellen des Regelwerkes) spielt die Wissensbasis eine entscheidende Rolle. Der Wissenserwerb kann durch Befragungen (Expertenmeinungen), Beobachtungen (Verhaltensanalyse eines Experten) oder durch automatische Lernverfahren *Neuro-Fuzzy-Systeme* erfolgen (Nauck et al. 2003). Die Wissensbasis besteht aus den folgenden Komponenten:

- Datenbasis

Eine Datenbasis kann das Wissen in geeigneter Form persistent vorhalten. Hierzu gehören die Zugehörigkeitsfunktionen unscharfer linguistischer Terme und deren Wertebereiche, welche im Regelwerk genutzt werden.

- Regelwerk

Das Regelwerk verknüpft das Expertenwissen mit dem gewünschten Entscheidungsverhalten des FRS. Das Entscheidungsverhalten ist vergleichbar mit einer menschlichen Handlungsanweisung.

**Komponente der Entscheidung**

Die Komponente der Entscheidung ist der eigentliche „Motor“ des FRS. Auf Basis des Regelwerkes werden hier die Schlussfolgerungen pro Regel in Abhängigkeit der Eingabedaten berechnet.

**Defuzzifikationskomponente**

Die Defuzzifikationskomponente fasst die unscharfen Schlussfolgerungen aller Regeln in einem „scharfen“ Ausgangswert zusammen. Der „scharfe“, Ausgangswert wird im Allgemeinen auch als Stellgröße bezeichnet. Hierfür existieren unterschiedliche Methoden. Die prominentesten Vertreter der Defuzzifikation, sind die *Centre-of-Gravity-*

---

*Methode (COG)* und die *Mean-of-Maxima-Methode (MOM)*. Durch das Zusammenfassen zu einem „scharfen“ Ausgangswert gehen aber auch Informationen verloren.

### **Ausgabe**

Die Ausgabekomponente überträgt die Stellgröße. Bei einem geschlossenen Regelkreis kann der Ausgangswert mit einer Sollgröße verglichen werden. Die Regelabweichung, die sich durch den Vergleich ergibt, kann dann wieder als Dateneingabe dienen.

Das in Abbildung 11 gezeigte FRS basiert auf den Grundlagen von Mamdani (Mamdani 1974). Ein Experte formuliert sein Wissen in Form von linguistischen Regeln. Die Schlussfolgerungen sind, wie die Prämissen, ebenfalls als unscharfe linguistische Terme definiert. Der scharfe Stellgrößenwert (Ausgangswert) wird durch die gewählte Methode der Defuzzifikation bestimmt. Grundsätzlich kann ein einmal fertig entworfenes Fuzzy-Regel-System, mit Ausnahme von Neuro-Fuzzy-Systemen, als deterministisches System betrachtet werden. Die Stellgröße ändert sich bei gleichen Eingangsdaten nicht.

Einen anderen Ansatz, das Verhalten der Stellgröße zu berechnen, stellen Sugeno & Takagi (1985) vor. Die Schlussfolgerung/Konklusion pro Regel ergibt sich aus einer Linearkombination der scharfen Eingangsgrößen. Im Gegensatz zur Mamdani-Methode berechnet sich die scharfe Stellgröße durch die gewichtete Linearkombination unter Berücksichtigung aller Regeln. Eine Defuzzifikation entfällt somit, da die Schlussfolgerungen der einzelnen Regeln bereits „scharfe“ Werte sind. Der Erfüllungsgrad  $E$  der jeweiligen Regel bestimmt das Gewicht für die Berechnung der Stellgröße (Ausgangswert). Der Erfüllungsgrad einer Regel kann durch die Verknüpfung der Prämissen mit dem *MIN*-Operator geschehen.

Problematisch ist es jedoch, pro Regel einen funktionalen Zusammenhang aufzustellen. Mit Hilfe von Neuro-Fuzzy-Systemen kann der funktionale Zusammenhang, unter Verwendung geeigneter Trainingsdaten, realisiert werden.

Laut (von Altröck 1993) sollte man die Entscheidung zur Verwendung eines FRS (Mamdani oder Sugeno/Takagi) mit den folgenden Kriterien überprüfen:

- Liegt eine Mehrparameter Problematik vor (mehrere Eingangs- und Ausgangsgrößen)?
- Sind mathematische Zusammenhänge nur unzureichend geklärt?
- Existieren zwischen den Eingangs- und Ausgangsdaten nicht lineare Zusammenhänge?
- Existieren starke Störgrößen/unsichere Informationen, welche eine Regelung in einen weiten Arbeitsbereich erfordern?

### Fazit

Der Vorteil eines FRS liegt in der Trennung der Regelzustände sowie der einfachen Abstimbarkeit innerhalb eines Expertenteams. Das Regelverhalten folgt im Allgemeinen menschlicher Intuition. Auch die kurze Entwicklungszeit eines FRS ist als Vorteil zu bewerten. Der Entwurf eines Fuzzy-Regel-Systems und die experimentelle Optimierung hinsichtlich des Entscheidungsverhaltens sind zeitaufwändig und demzufolge als Nachteil zu bewerten.

### Beispiel

Das nachfolgende Beispiel zeigt den Unterschied zwischen einem nach Mamdani und Sugeno/Takagi realisierten FRS. Trotz unterschiedlicher Parametrisierungen in den Zugehörigkeitsfunktionen, ist die Stellgröße bei beiden die gleiche. Die Anpassung erfolgte durch ein Neuro-Fuzzy-System.

Tabelle 5: Fuzzifizierte Eingabedaten des fiktiven FRS nach Mamdani (zwei Eingangswerte).

Eingangsgröße	linguistischer Term	Fuzzy-Intervall
$e_1$	mittel	$(0.00, 0.40, 0.40, 0.80)_T$
$e_1$	groß	$(0.60, 1.00, 1.00, 1.00)_T$
$e_2$	nah	$(0.00, 0.00, 0.00, 0.50)_T$
$e_2$	fern	$(0.30, 1.00, 1.00, 1.50)_T$

Tabelle 6: Schlussfolgerung/ Konklusion des fiktiven FRS nach Mamdani

Konklusion	linguistische Teilkonklusion	Fuzzy-Intervall
$c_1$	gering	$(0.00, 0.00, 0.00, 0.30)_T$
$c_2$	mittel	$(0.20, 0.50, 0.50, 0.75)_T$
$c_3$	hoch	$(0.60, 1.00, 1.00, 1.00)_T$

Tabelle 7: Regelbasis des fiktiven FRS nach Mamdani

<b>IF</b> (1.1 IS „hoch“) <b>AND</b> (1.2 IS „hoch“) <b>THEN</b> (1B IS „hoch“)
<b>IF</b> (1.1 IS „hoch“) <b>AND</b> (1.2 IS „gering“) <b>THEN</b> (1B IS „wenig“)
<b>IF</b> (1.1 IS „wenig“) <b>AND</b> (1.2 IS „gering“) <b>THEN</b> (1B IS „kaum“)

Tabelle 8: Fuzzifizierte Eingabedaten des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi

Eingangsgröße	linguistischer Term	Fuzzy-Intervalle (Partitionierung)
$e_1$	mittel	$(-0.70, -0.30, 0.33, 0.90)_T$
$e_1$	groß	$(0.33, 0.72, 1.30, 1.70)_T$
$e_2$	nah	$(-0.70, -0.30, 0.21, 0.75)_T$
$e_2$	fern	$(0.39, 0.50, 1.30, 1.70)_T$

Tabelle 9: Schlussfolgerung/ Konklusion des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi

Konklusion	Kontrollregeln (Polynome erster Ordnung)
$c_1$	$c_1 = 0.52 - 0.16 e_1 - 0.14 e_2$
$c_2$	$c_2 = 0.24 - 0.98 e_1 + 0.15 e_2$
$c_3$	$c_2 = 0.19 + 0.75 e_1 - 0.09 e_2$
$c_4$	$c_4 = -0.28 + 0.44 e_1 + 0.35 e_2$

Tabelle 10: Regelbasis des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi

<b>If</b> ( $e_1$ IS „mittel“) <b>AND</b> ( $e_2$ IS „nah“) <b>THEN</b> $c_1$
<b>If</b> ( $e_1$ IS „mittel“) <b>AND</b> ( $e_2$ IS „fern“) <b>THEN</b> $c_2$
<b>If</b> ( $e_1$ IS „groß“) <b>AND</b> ( $e_2$ IS „nah“) <b>THEN</b> $c_3$
<b>If</b> ( $e_1$ IS „groß“) <b>AND</b> ( $e_2$ IS „fern“) <b>THEN</b> $c_4$

Formel 11: Berechnung der Stellgröße des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi

$c_{ges} = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i c_i}{\sum_{i=1}^4 E_i}$	<p>Formel 12: Ermittlung der scharfen Stellgröße eines FRS nach Sugeno/Takagi.</p>
---	--

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Ergebnisse des fiktiven FRS nach Mamdani und des fiktiven FRS nach Sugeno/Takagi

Tupel der Eingabewerte	Stellgröße nach Mamdani (COG)	Stellgröße nach Sugeno/Takagi Aggregation der Gewichte (min)	Diff.
(0.0,0.0)	(0.50)	(0.52)	(0.02)
(0.3,0.7)	(0.11)	(0.08)	(0.03)
...			
(0.7,0.7)	(0.13)	(0.15)	(0.02)

Aus der Gegenüberstellung (vgl. Tabelle 11) ist zu entnehmen, dass die Stellgrößen beider Fuzzy-Regel-Systeme fast identisch sind. Für das FRS nach Sugeno/Takagi wurden Polynome erster Ordnung für die Schlussfolgerung verwendet. Funktionen höherer Ordnung oder die Änderung der Zugehörigkeitsintervalle könnten dazu beitragen, dass die Differenzen der Gegenüberstellung minimiert werden.

### 3.3 Geodatennutzung aus verteilten Quellen

Der *E-Government-Aktionsplan* im Rahmen der *i2010-Initiative*, „Beschleunigte Einführung elektronischer Behördendienste in Europa zum Nutzen aller“ (EU 2006), ist der aktuelle Leitfaden nationaler Bemühungen zum Aufbau einer zukunftsorientierten und innovativen Verwaltung. Aus den Erfahrungen von *BundOnline® 2005* sowie *Deutschland Online®*, soll das Internet im *E-Government-Programm* des Bundes, *E-Government*

2.0, zum wichtigsten Kommunikations- und Vertriebskanal für bedarfsgerechte Verwaltungsdienstleistungen werden (DE 2007a). Damit E-Government Anwendungen interoperabel, plattformunabhängig und investitionssicher realisiert werden können, sind *Standards und Referenzarchitekturen (SAGA)* einzuhalten (DE 2007b). In erster Linie hat E-Government das Ziel, die elektronische Abwicklung von Geschäftsprozessen der Regierung und in der öffentlichen Verwaltung zu ermöglichen. Das *Bundesministerium des Inneren (BMI)* versteht darunter die Aktivitäten zur „[...]Verbesserung der Beteiligung von Wirtschaft und Bevölkerung an politischen Entscheidungs- und Verwaltungsprozessen[...]“, „[...]Bedarfsorientierte Weiterentwicklung des Online-Angebots und Umsetzung[...]“ aber auch die “[...]Vereinfachung von wichtigen behördenübergreifenden Verfahren[...]”(DE 2007a). Hierzu gehört auch die übergreifende und schrittweise Bereitstellung von Geodaten sowie deren Metadaten im Rahmen der *Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE)*. Die gesetzliche Regelung zur Steuerung und Entwicklung von Projekten zum Aufbau und der Nutzung der GDI-DE ist durch das *Geodatenzugangsgesetz (GeoZG)* gegeben (DE 2009). Das GeoZG ist die nationale Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie INSPIRE. Neben dem technischen Leitfaden (SAGA) existiert für den Aufbau der GDI-DE ein weiteres Dokument, *Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland*, welches die einzuhaltenden technischen Vorgaben für eine GDI-DE beschreibt (DE 2007c). Aus diesem Dokument ist zu entnehmen, dass der Austausch von raumbezogenen Informationen zukünftig über Geo-Web-Dienste realisiert werden soll.

### 3.3.1 Hindernisse bei der Geodatennutzung aus verteilten Quellen

Bedingt durch das GeoZG, nimmt die verfügbare Menge an digitalen Geodaten kontinuierlich zu. Dies ist in erster Linie durch die gestaffelte Umsetzung der INSPIRE-Rahmenrichtlinie und den damit verbundenen vereinfachten Zugang zu Geodaten zu begründen. Ein vereinfachter Zugang ist sowohl auf technischer als auch auf rechtlicher Ebene zu schaffen. Die Thematik sowie der Umfang dieser Geodaten sind den Anhängen I-III der Rahmenrichtlinie zu entnehmen. Aufgrund der Tatsache, dass Geodaten vornehmlich nutzungsorientiert und fachspezifisch erfasst werden, ist eine stetig wachsende Heterogenität der thematischen Eigenschaftsausprägung verfügbarer Datenquellen zu erwarten. Bei einer Kombination von unterschiedlichen Geodaten können folglich die in Tabelle 12 beschriebenen Probleme auftauchen.

---

Tabelle 12: Probleme der Semantischen und Syntaktischen Heterogenität bei der Kombination verteilter Geodaten

	Probleme	Beispiel
Semantische Heterogenität	Exploration/Suche von Geodaten	Unterschiedliche Fachdisziplinen (Domänen) weisen einem spezifischen Landschaftsmerkmal unterschiedliche Fachtermini zu. Im Agrarwissenschaftlichen Bereich spricht man von einer „Applikationsfläche“, die die gleichen landschaftsprägenden Merkmale wie eine „Ackerfläche“ aus dem Geowissenschaftlichen Bereich besitzt.
	unterschiedliche Maßstabsebenen	Die Informationsdichte bei ungleichen Maßstabsebenen differiert. Dies beeinflusst auch die Aussageschärfe der merkmalsbestimmenden Objekteigenschaften (Thematische Auflösung). Je größer die Maßstabszahl, desto mehr steigt auch das Abstraktionsniveau. Unterschiedliche Skalenniveaus, beispielsweise einer Landnutzungsklassifizierung, spiegeln auch die Aussageunschärfe wider. Weiterhin beeinflusst der Maßstab auch die räumliche Auflösung.  Bei geometrischen Operationen, wie die Schnittmengenbildung zweier Geoobjekte mit unterschiedlichen Maßstabsbereichen, ist das Ergebnis (Schnittmenge) kritisch zu hinterfragen.
	informationelle und intrinsische Unschärfe	(vgl. Tabelle 2)
	Unterschiedliche Datenmodelle	Auch wenn die Datenquellen zugänglich sind, kann aufgrund unterschiedlichster Datentypen eine kombinierte Nutzung heterogener Geodaten erschwert werden. Eine Lösungsmöglichkeit, die semantische Modelltransformation, stellt Staub (2009) im Rahmen seiner Dissertation vor.
Syntaktische Heterogenität	Dezentrale Datenstrukturen	Um dezentrale Datenstrukturen zu überbrücken, wurden Daten von einem Quellsystem zum Zielsystem oft mit den unterschiedlichsten technischen Mitteln (E-Mail, DVD, FTP,...) übertragen. Dabei kommt es unter Umständen zu Medienbrüchen, die die Qualität der Daten mindert. Geo-Web-Dienste schaffen Interoperabilität zwischen den Ziel- und Quellsystem. Durch Geo-Web-Dienste kann die Problematik dezentraler Datenstrukturen überwunden werden.
	unterschiedlicher Raumbezug	Es existiert eine hohe Anzahl unterschiedlicher räumlicher Referenzsysteme. Hinzu kommt, dass Geodaten auch indirekt räumlich referenziert werden. Als Beispiel ist die postalische Anschrift zu nennen. Ebenso können auch verbale Beschreibungen wie „auf der linken Seite des Objektes XY im parallelen Abstand von 10 [m]“ einen räumlichen Bezug angeben. Bei kleinräumigen GIS-Analysen muss zudem auch der Genauigkeitsverlust bei einer Datumstransformation berücksichtigt werden.

### 3.3.2 Lösungsansätze zur Geodatennutzung aus verteilten Quellen

In einer europaweiten harmonisierten Bereitstellung von Geodaten gemäß der INSPIRE-Rahmenrichtlinie werden Durchführungsbestimmungen in fünf speziellen Ar-

beitsgruppen, sogenannten *Drafting Teams* erarbeitet (INSPIRE 2008). Hierzu gehören die Themengebiete:

1. Metadaten (*Metadata*),
2. Harmonisierte Datenspezifikationen (*Data Specification*),
3. Netzwerkdienste (*Network Services*),
4. Daten- und Diensteaustausch (*Data and Service Sharing*) sowie
5. Monitoring und Berichtswesen (*Monitoring & Reporting*).

Dabei sind die Durchführungsbestimmungen zu den Metadaten und zu den harmonisierten Datenspezifikationen im Rahmen einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten von besonderem Interesse.

Die Metadaten geben unter anderem Auskunft über die qualitativen Eigenschaften der Datenquelle. Diese Informationen sind zur Exploration von Geodaten mit Hilfe vernetzter Kataloge essentiell. Da die Bedeutung (Semantik) der Geodaten von Fachdisziplin zu Fachdisziplin unterschiedlich ist, muss die Exploration auf Basis von semantischen Kriterien erfolgen. Die Einbeziehung bestimmter Schlüsselwörter eines gemeinsamen Vokabulars (GEMET-Thesaurus) stellt die einfachste Realisierung einer semantischen Suche dar. Dabei ist es zwingend notwendig, dass jeder Geodatensatz mindestens ein Schlüsselwort aus diesem gemeinsamen Vokabular in Form seiner Metadaten enthält. Dies wurde durch die Arbeitsgruppe „Metadaten“ berücksichtigt und in der entsprechenden Implementierungsrichtlinie (INSPIRE 2009) dokumentiert. Eine präzisere Suche kann nach semantischen Kriterien erfolgen (vgl. Abschnitt 2.1).

Die harmonisierten Datenspezifikationen sichern die semantisch-technische Interoperabilität zwischen europäischen Datenmodellen einer gleicher Datenthematik. Dabei werden die in den Mitgliedsstaaten verwendeten Datenmodelle (Quellmodelle) in die europäischen Datenmodelle (Zielmodelle) transformiert. Um ein Quellmodell in ein Zielmodell zu überführen, stellen Donaubauer, Straub, & Schilcher (2007) und Staub (2009) das Konzept der modellbasierten Transformation vor. Die syntaktische Interoperabilität zwischen zwei Datenmodellen ist dank etablierter IT- Standards (SOAP, OGC-Web-Dienste, GML, etc.) zur schnittstellenbasierten Kommunikation weitestgehend gelöst.

---

### 3.4 Kartografische Modellbildung

Das Konzept der kartografischen Modellbildung (*Cartographic Modeling*) wurde Ende der 80er Jahre von Dana Tomlin entwickelt (Tomlin 1990).

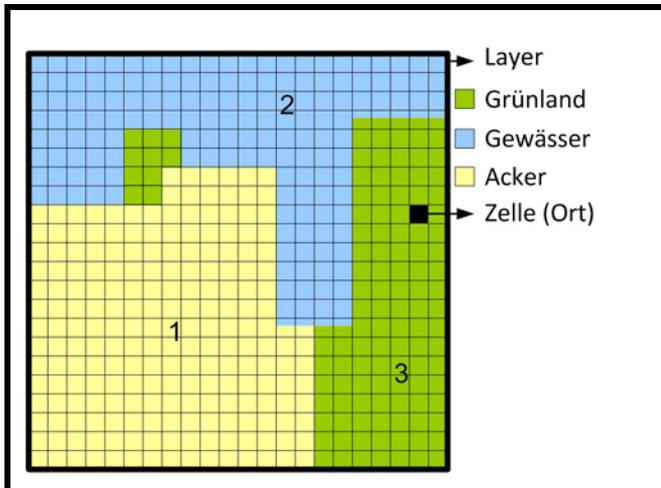


Abbildung 12: Darstellung der Elemente eines Kartografischen Modells

Das *Kartografische Modell* gliedert sich in *Layer*, *Zonen* und *Orte*. Ein *Layer* ist ein Datensatz, welcher die unterschiedlichen Merkmale (*Zonen*) eines definierten Raums beinhaltet. Ein *Layer* „Landnutzung“ kann also die Merkmale „Gewässer“, „Acker“ oder „Grünland“ beinhalten. In aller Regel sind die Merkmalsausprägungen, numerisch codiert, den *Orten* zugewiesen. Eine Bedeutungszuordnung beispielsweise (1=Grünland) kann interpretativ erfolgen. Die *Zonen*, thematisch homogene Merkmale, aggregieren eine Anzahl von *Orten*. Dabei müssen die *Orte* nicht räumlich zusammenhängend auftreten (beispielsweise „Grünland“ in der Abbildung 12). Im Rasterdatenmodell ist die Ausdehnung und Fläche einer *Zelle* gleich der Ausdehnung eines *Ortes*. Somit stellt die *Rasterzelle* die kleinste räumliche Bezugseinheit dar. Im Rahmen dieser Arbeit werden die *Rasterzellen* nachfolgend auch *Raumbezugseinheiten* genannt. Ein *Layer* besitzt weiterhin eine definierte Orientierung (beispielsweise Projektion). Durch die numerische Codierung der Werteausprägung pro *Raumbezugseinheit* ist es möglich, mathematische Operationen bei überlagernden *Layern* gleicher Projektion anzuwenden. Hierfür ist der Begriff *MapAlgebra* weit verbreitet und wird von *Geografischen Informationssystemen* unterstützt. Dabei wird zwischen lokalen-, fokalen-, zonalen und globalen Operatoren unterschieden. Ausführliche Informationen zu den rasterbasierten Operationen kann den Ausführungen des oben genannten Autors entnommen werden.

### 3.5 Untersuchungsgebiet und Datengrundlagen

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich in einem maximalen Abstand von 150 [m] um die Obstanbauflächen des Bundeslands Brandenburg. Im Gegensatz zu Bayern oder

Baden-Württemberg hat Brandenburg eine eher geringe Flächensumme von intensiv bewirtschafteten Obstanbauflächen. Für eine Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geoinformationen ist neben einem praktischen Anwendungskontext die Verfügbarkeit und Vielfalt (Heterogenität) nutzbarer Datenquellen von größerer Bedeutung. Die Umsetzung der INSPIRE-Rahmenrichtlinie auf Landesebene ist in Brandenburg weit vorangeschritten. Sowohl die *Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB)* als auch das *Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV)* stellen Geobasis- sowie umfangreiche Geofachdaten als Geo-Web-Dienste und als Download-Dienste zur Verfügung (vgl. Tabelle 13). Zu den verfügbaren Geobasis- und Geofachdaten zählt die *Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK)*, das *Kataster der digitalen Feldblöcke (FB)* sowie das *Kataster der digitalen Landschaftselemente (LE)*. Das *Bundesamt für Geodäsie und Kartografie (BKG)* stellt den BDLM-Datenbestand bundesweit zur Verfügung. Mit Ausnahme des Datenbestands der digitalen Landschaftselemente (Landbedeckungsdaten) handelt es sich ausschließlich um Landnutzungsdaten.

Tabelle 13: Übersicht der verwendeten Geodaten für die prototypische Implementierung (Kapitel 5).

Datenquelle	Anbieter	Dienst	Download	Aktualität
ALK	LGB	WMS (ohne SLD), WFS	Testdaten	tagesaktuell, verschieden
Feldblöcke	MLUV	-----	Ja	2009
Landschaftselemente	MLUV	-----	Ja	2009
BDLM	BKG	WMS, WFS ab 10/2009	Testdaten	2000-2009

### ALK

In der ALK werden die Lage und die Geometrie der Flurstücke und Gebäude beschrieben. Je nach Bundesland existieren noch weitere Informationen, sogenannte Grundrißinformationen über die Nutzungsarten, Topografie, Bodenschätzung sowie öffentlich-rechtliche Festlegungen. Die ALK liegt landesweit flächendeckend und blattschnittfrei im Vektordatenformat vor. Die Grundrißinformationen werden entsprechend ihrer Thematik verschlüsselt. In Brandenburg dient hierfür der Objektschlüsselkatalog (OSKA). Für die Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geoinformationen wurde der Folienschlüssel 021, der die im Liegenschaftskataster nachgewiesenen tatsächlichen Nutzungen beinhaltet. Die ALK wird in Brandenburg zugriffsbeschränkt über

Geo-Web-Dienste zur Visualisierung und zum Objektabruf zugänglich gemacht. Die Visualisierung und der Objektabruf über Geo-Web-Dienste erfolgt durch ein *Web Map Service (WMS)* und einem *Web Feature Service (WFS)* (OGC 2002b),(OGC 2005a). Im Zuge der Einführung des bundesweiten AAA<sup>®</sup>-Datenmodells wird die ALK ab dem Jahr 2011 durch das Fachschema *ALKIS<sup>®</sup>* ersetzt. Für die vorgestellte Methode bedeutet die Migration in der Raumbewertungskomponente mehr Robustheit, da bundeseinheitlich alle Länder von einem gemeinsamen ISO<sup>®</sup>-basierten Fachschema ableiten.

Die Migration der ALK in das *ALKIS<sup>®</sup>* führt aber zur thematischen Zusammenfassung von unterschiedlichsten Nutzungsarten. Dies ist als Nachteil zu bewerten, da eine thematische Aggregation auch zur semantischen Unschärfe im Zielsystem mündet.

### **BDLM**

Das *ATKIS<sup>®</sup>* -Basis-DLM beschreibt die topographischen Objekte in der Landschaft auf der Grundlage der Festlegungen des *ATKIS<sup>®</sup>*-Objektartenkatalogs (*ATKIS-OK*). Das *BDLM* liegt bundesweit flächendeckend und blattschnittfrei im Vektordatenformat vor. Der Umfang und die Dichte des Datenbestands hängen vom erreichten Erfassungsstand in den zuständigen Landesvermessungseinrichtungen ab. Das *BDLM* wird deutschlandweit zugriffsbeschränkt über dem *WMS* zugänglich gemacht. Zum Ende des Jahres 2009 ist der Datenbestand auch über den *WFS* erreichbar. Ähnlich wie bei der *ALK*, wird auch für das *BDLM* ein eigenes Fachschema *ATKIS<sup>®</sup>* im *AAA<sup>®</sup>*-Datenmodell vorgesehen. Das *BKG* strebt eine Migration des bisherigen *BDLM* in das *AAA<sup>®</sup>*-Datenmodell für das Jahr 2010 an (*BKG* 2009). Aus diesem Grund, konnte im Rahmen dieser Arbeit auf das *BDLM* nach dem *AAA<sup>®</sup>* Datenmodell in Hinblick auf die technische Realisierung (Kapitel 5) kein Bezug genommen werden.

### **Digitale Feldblöcke**

Ein Feldblock ist eine zusammenhängende landwirtschaftlich nutzbare Fläche. Die Bewirtschaftung eines Feldblocks kann durch einen oder mehrere Landwirte erfolgen. Der Datenbestand wird auf Grundlage digitaler Orthofotos der Landesvermessung Brandenburg jährlich aktualisiert. Im Kontext dieser Arbeit sind Feldblockdaten von besonderem Interesse, da wie eingangs erwähnt, landwirtschaftliche Nutzflächen als potenzielle Applikationsflächen gelten. Der Datenbestand der digitalen Feldblöcke kann

---

ohne Zugriffsbeschränkung im Vektordatenformat von der Webseite des MLUV bezogen werden.

### **Digitale Landschaftselemente**

„Digitale Landschaftselemente sind besonders zu erfassende Landschaftsmerkmale, die sich im und am Feldblock befinden (Solitäre, Hecken, Baumreihen, Feldgehölze, Feldraine, Lesesteinhaufen u.a.) und nicht der landwirtschaftlichen Nutzung zuzurechnen sind. Die Abgrenzung von Landschaftselementen orientiert sich an der potenziell landwirtschaftlich nutzbaren Fläche, nicht an sichtbaren Konturen des Landschaftselementes“ (MLUV 2009).

Wie die Feldblockdaten, können auch die digitalen Landschaftselemente ebenfalls ohne Zugriffsbeschränkung im Vektordatenformat von der Webseite des MLUV bezogen werden.

### **Verwendete Geometrietypen**

Geodaten im Vektordatenmodell besitzen lagebezogene Eigenschaften, die in der Regel durch Geometrien beschrieben werden. Hierzu zählen die Geometrietypen Punkt, Linie und Polygon. Punktförmige Objekte kommen mit Ausnahme des BDLM in den anderen Datenquellen nicht vor. Ein punktförmiger Geometrietyp der Objektgruppe 4200 (BDLM) trägt zu wenig verwertbare semantische Informationen mit sich. Hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung (Breitenangabe) werden keine Informationen bereitgestellt. Das Erfassungskriterium laut dem Objektartenkatalog des BDLM wird für die Objektgruppe 4200 wie folgt definiert:

„[...]Einzeln stehender Baum, der als Naturdenkmal eingestuft oder landschaftsprägend ist. [...]“ (ADV 2003).

Nach dem ATKIS®-Datenmodell (AAA®) befindet sich ein einzelnstehender Baum in der Objektgruppe „AX\_Vegetationsmerkmal“. Informationen zur Breite oder zum Zustand stehen zukünftig optional zur Verfügung (Multiplizität<sup>9</sup> [0-1]). Obwohl die linienförmigen

---

<sup>9</sup> Die Anzahl der Ausprägungen der definierten Attribute wird mit der Multiplizität spezifiziert.

gen Geoobjekte der gleichen Objektgruppe im ATKIS®-Datenmodell auch keine Informationen zur Breite bereitstellen, existieren hierzu genügend Erfahrungswerte. Auch die objektbeschreibenden Informationen laut ADV sind präziser:

„[...]Vollzählig ab einer Länge  $\geq$  200 m an Verkehrswegen in der freien Landschaft, wenn sie landschaftsprägend ist[...]“ (ADV 2003).

### **Fazit**

Grundsätzlich muss zur Akzeptanz der in dieser Arbeit vorgestellten Methode die Frage geklärt werden, wie zukünftig bei fehlenden Eigenschaftsangaben, beispielsweise hinsichtlich der Breiteangaben, zu verfahren ist. Hierzu können minimale Angaben, aber auch regionale oder lokale Erfahrungswerte genutzt werden. Trotz der Verwendung des Konzeptes von unscharfen Mengen, ist ein Mindestmaß an semantisch zu verwertenden Informationen für eine Multiattributive Raumbewertung notwendig.

#### 4 Multiattributive Raumbewertung

Eine Multiattributive Raumbewertung kann mit unterschiedlichen Zielsetzungen durchgeführt werden. Hierzu gehören die *Nutzungsorientierte Eignungsbewertung*, die *Ökologische Belastungsbewertung*, die *Werteanalyse* oder die *Ökologische Risikobewertung* (Hase 1996).

In dieser Arbeit wird insbesondere auf die Nutzungsorientierte Eignungsbewertung Bezug genommen. Geodaten beziehungsweise Geoobjekte und deren Eigenschaften stellen die Basis einer Raumbewertung dar. Zur Bewertung der Eigenschaften eines Geoobjektes ist ein hohes Skalenniveau von Vorteil, welches eine quantitative Bewertung der Kriterien erlaubt. Hierfür kommen in erster Linie metrische Skalen (beispielsweise Ratioskala) mit einem kontinuierlichen Wertebereich in Betracht. Nutzt man für eine Raumbewertung die kartografische Modellbildung, können im Bewertungsergebnis die Merkmalsausprägungen der Raumbezugseinheiten Aufschluss darüber geben, inwieweit die vorab festgelegten Kriterien für eine Raumbezugseinheit zutreffen oder nicht zutreffen. Der Arbeitsfluss einer Multiattributiven Raumbewertung stellt sich nach Hase und Jacobs (2006) wie folgt dar:

1. Spezifikation des Bewertungsmodells
2. Datenerhebung und Raumgliederung
3. Werteberechnung (Bewertungen)
4. Transformation der Bewertungen auf vergleichbare Skalen
5. Gewichtung und Aggregation der Bewertungen zu einem Gesamtergebnis
6. Ergebnisdarstellung

Im Kontext dieser Arbeit soll das Bewertungsmodell Informationen über die Landnutzung von heterogenen Geodaten extrahieren, um eine harmonisierte Datengrundlage hinsichtlich einer Ziel-Landnutzung zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erstellen. Die Bewertungen der Kriterien erfolgt auf Grundlage einer Ratioskala. Die Zielskala des Bewertungsmodells (gewichtete Gesamtbewertung) entspricht einer Ordinalskala.

Die Raumgliederung entspricht der kartografischen Modellbildung. Die Berechnung der Auflösung bzw. die Größe einer Raumbezugseinheit kann durch das Beispiel des Ab-

schnitts 4.1 nachvollzogen werden. Jede Objekteigenschaft wird in einem Layer des Kartografischen Modells abgebildet. Diesen Eigenschaften stehen Kriterien gegenüber.

Die Bewertung der Eigenschaften hinsichtlich eines Kriteriums erfolgt durch verschiedene Bewertungsfunktionen. Die Grundlage der Bewertung bilden die lagebeschreibenden- und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes. Zu den nicht lagebeschreibenden Eigenschaften gehören die Merkmalsdimensionen Thematik und Zeit. Die Bewertung der Eigenschaften erfolgt unter Berücksichtigung der Fuzzy-Logik, da die Unschärfe, bedingt durch die Datenmodellierung, in allen drei Merkmalsdimensionen existent ist. Die Bewertung der unscharfen lagebeschreibenden Eigenschaft (vgl. Abschnitt 4.1) wird getrennt von der Bewertung der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaften (vgl. Abschnitt 4.2) eines Geoobjektes betrachtet.

In dieser Arbeit werden ausschließlich Daten, die dem Vektordatenmodell unterliegen, betrachtet. Die Gewichtung und Aggregation der Bewertungen zu einem Gesamtergebnis kann im Abschnitt 4.3 nachvollzogen werden.

#### **4.1 Bewertung der lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes**

Wie unter 3.1 angeführt ist jedes Geoobjekt, bedingt durch die Datenmodellierung, mit Unschärfen behaftet. Zu den lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geoobjektes im Vektordatenmodell gehören die Geometrie und der dazugehörige Raumbezug. Die Geometrietypen, die in der vektororientierten Datenmodellierung nach ISO ( 2003) verwendet werden, sind in ihrer räumlichen Ausprägung fest definiert. Bezugnehmend auf die verwendeten Datengrundlagen (Abschnitt 3.5) werden im Rahmen dieser Arbeit nur Geodaten, die dem Vektordatenmodell unterliegen, betrachtet. Demzufolge besitzen Geodaten gemäß ihrem dazugehörigen Datenmodell eine scharfe räumliche Abgrenzung in ihrer topografischen Merkmalsausprägung („scharfe räumliche Extension“). Die Modellierungsvorschrift des Datenmodells definiert, wie letztendlich ein Geoobjekt gebildet wird, bzw. ob es auf Grund von Mindest erfassungsgrenzen überhaupt existiert (vgl. Abbildung 14, Abbildung 15). Den Zusammenhang zwischen dem AAA<sup>®</sup>-Datenmodell und der tatsächlichen räumlichen Extension eines Geoobjektes erklärt die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen treffend:

---

„Die semantische Harmonisierung der Objektarten der Grundflächen (Objektartenbereich „Landnutzung“) konnte vollständig erreicht werden. In der geometrischen Ausprägung hingegen, ist der linienhaften Modellierung der Straßen, Wege, Eisenbahnen und Gewässer in ATKIS Rechnung getragen worden. Somit werden diese in ALKIS flächenförmig modellierten Objekte, aufgrund des Abstraktionsgrades von ATKIS, z.T. nur als linienförmige Repräsentanten von Flächen modelliert. Dies fand bei der Harmonisierung besonders für ATKIS in der Bezeichnung der Objektarten Berücksichtigung (z.B. Straßenachse statt Straße).“ (ADV 2008)

Die unscharfe räumliche Ausdehnung, (Unschärfe räumliche Extension), hängt demnach stark vom Abstraktionsgrad der jeweiligen Modellierungsvorschrift ab. Die Unschärfe räumliche Extension eines Geoobjektes kann im Kartografischen Modell durch die Zuweisung gradueller Zugehörigkeitswerte zu den Raumbezugseinheiten (vgl. Abschnitt 3.4) erfolgen (Jacobs 2006). Um methodisch die Möglichkeiten der MapAlgebra des Kartografischen Modells zu nutzen, ist bei der Verwendung von Vektordaten eine Vektor-Raster Konvertierung notwendig. Die Konversion der Darstellungsart (Vektor-Raster) sind nach Fritsch et.al. (1998) mit der Konversion der Unsicherheit verbunden. Dieser Zusammenhang wird durch die in Abschnitt 4.1.3 und 4.1.4 gewählte Methode berücksichtigt.



Abbildung 13: Darstellung der räumlichen Extension einer Baumreihe in der Realität.

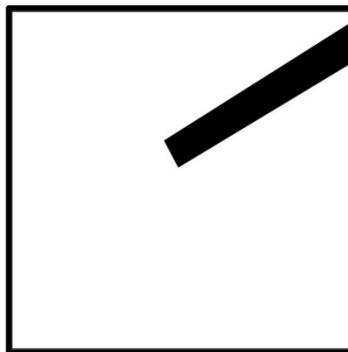


Abbildung 14: Darstellung der räumlichen Extension eines Geoobjektes mit der Bedeutung „Baumreihe“ nach der Modellierungsvorschrift X.

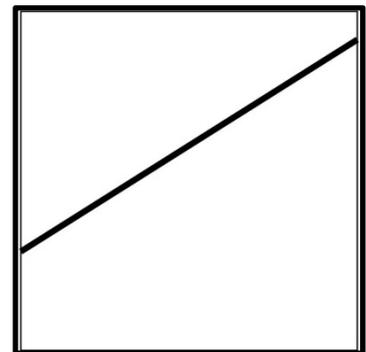


Abbildung 15: Darstellung der räumlichen Extension eines Geoobjektes mit der Bedeutung „Baumreihe“ nach der Modellierungsvorschrift Y.

Die Daten im Untersuchungsgebiet unterliegen dem Vektordatenmodell (vgl. Abschnitt 3.5). Zur Berücksichtigung der Unschärfe räumlicher Extension eines Geoobjektes müssen in Abhängigkeit des Geometrietyps der Rand-, der Innere- und der Äußere-Bereich einer Geometrie separat betrachtet werden. Die Definition der drei Bereiche lehnt sich an die des 9IM an. Die Notwendigkeit einer getrennten Betrachtung begründet sich zum einen dadurch, dass die Geometriebereiche Träger von Objekteigenschaften sind, und zum anderen, weil die topologischen Beziehungen zweier Objekte zur Modellierung der Unschärfe räumlicher Extension nach Abschnitt 4.1.4 bekannt sein müssen.

Die nachfolgenden Abschnitte widmen sich der Modelldefinition für den *unscharfen Geometrietyp Linie* und *Polygon*. Der *unscharfe Geometrietyp Punkt* wird entsprechend den Ausführungen des Abschnittes 3.5 für diese Arbeit nicht näher betrachtet. Grundsätzlich kann dieser Geometrietyp gemäß der Modelldefinition nach Glemser (2001) und der in dieser Arbeit vorgestellten Methode berücksichtigt werden.

Die Unschärfe räumliche Extension  $R$  eines Geoobjektes  $O$  kann im Kartografischen Modell durch die Fuzzy-Menge  $\bar{G}$  nach der Formel 13 angegeben werden. Die Elemente der Fuzzy-Menge  $\bar{G}$  sind Raumbezugseinheiten  $(x, y) \in \mathbb{R}^2$  eines Layer im zweidimensionalen Raum. Den Elementen sind unterschiedliche Zugehörigkeitsgrade  $\mu_{\bar{G}}(x, y) \in [0,1]$  zugeordnet.

$$\bar{G} = \left\{ \left( (x, y), \mu_{\bar{G}}(x, y) \right) \mid (x, y) \in \mathbb{R}^2, \mu_{\bar{G}}(x, y) \in [0,1] \right\}$$

**Formel 13: Definition einer Fuzzy-Menge als Layer im Kartografischen Modell.**

Die Festlegung der Rasterzellgröße der Raumbezugseinheiten für die Bewertung erfolgt in Abhängigkeit von der höchsten Auflösung bzw. von dem größten Maßstab der verfügbaren Datenquellen. Die Rasterzellgröße kann dann mit Hilfe des Nyquistischen Abtasttheorems (doppelte Ortsfrequenz) berechnet werden.

Die Informationen zur Auflösung der verfügbaren Datenquellen können den dazugehörigen Metadaten entnommen werden. Diese Angaben sind nach der ISO 19115 verpflichtend (INSPIRE 2007). Aus den in Abschnitt 3.5 aufgelisteten Datenquellen, besitzt die automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) den größten Maßstab. Die Nutzung der

Maßstabsinformationen eignet sich ebenfalls zur Abschätzung der geometrischen Genauigkeit.

Angaben zur geometrischen Genauigkeit, *Positional Accuracy*, können für eine bestimmte Geodatenressource auch den Metadaten entnommen werden (ISO 19115). Die Angabe ist durch das komplexe Objekt *DQ\_PositionalAccuracy* nicht eindeutig definiert. Die Multiplizität der Eigenschaft „*Result*“ des Objektes *DQ\_PositionalAccuracy* ist mit [1..2]<sup>10</sup> definiert. Es muss also entweder ein quantitativer Ergebniswert (*DQ\_QuantitativeResult*) oder ein Konformitätsergebnis (*DQ\_ConformanceResult*) zur Beschreibung der geometrischen Genauigkeit angegeben werden. Diese Ergebniswerte sind eine Spezialisierung des abstrakten komplexen Objekts *DQ\_Result*. Da der Angabe eines Konformitätsergebnis keine verwendbaren Informationen zur geometrischen Genauigkeit entnommen werden kann, aber die Metadatenspezifikation nicht zwingend ein quantitativer Ergebniswert verlangt, ist die Verwendung der geometrischen Genauigkeitsangaben durch Metadaten nicht immer gegeben.

### Beispiel

Die Nutzungsartengrenzen der ALK in Brandenburg wurden ursprünglich durch die Digitalisierung der analogen Flurkarte erhoben. Die flächendeckende Umstellung erfolgte im Rahmen des EFRE<sup>11</sup>-geförderten Projektes „Forcierte Einrichtung der Automatisierten Liegenschaftskarte“ (FALKE). Die Zeichengenauigkeit der analogen Flurkarte betrug  $2 \cdot 10^{-4}$  [m]. Theoretisch kann von einer Zeichen-, Kartier- und Digitalisierengenauigkeit von  $5 \cdot 10^{-4}$  [m] bei der Objektbildung der ALK ausgegangen werden. Die kleinste Maßstabszahl außerhalb bebauter Gebiete wurde in Brandenburg mit  $m=1000$  angegeben (Ingwersen 2003). Dieser Maßstab ist für bebaute und unbebaute Flächen in Brandenburg rechtsverbindlich (BRB 2004). Mit diesen Informationen ergibt sich eine Abtastrate bzw. Rasterzellgröße kleiner gleich 0.25 [m]. Die bei einer Vektor-Raster-Konversion entstehenden Unsicherheiten sind in erster Linie abhängig von der Auflösung des Zielmodells. Eine Vektor-Rasterkonvertierung kann durch die Nutzung eines WMS, wie im Abschnitt 5.2 beschrieben, realisiert werden. Die entstehende Unsicher-

---

<sup>10</sup> Aus der Multiplizität [1..2] ist zu erkennen, dass nur ein oder zwei Ausprägungen erlaubt sind.

<sup>11</sup> EFRE: Europäische Fonds für Regionale Entwicklung

heit von maximal 0.25 [m] ist im Kontext der zugrundeliegenden Datenquellen und der zu beantwortenden Fragestellung zu vernachlässigen.

Die Abschnitte 4.1.3 und 4.1.4 nutzen die nachfolgend beschriebenen Modelldefinitionen unscharfer Geometrien zur Modellierung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes. Die Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes erfolgt einerseits aufgrund des Erfassungsmaßstabes und andererseits aufgrund des Abstraktionsgrades der zugrundeliegenden Datenmodelle verfügbaren Datenquellen. Der Abschnitt 4.1.5 aggregiert beide Bewertungen.

#### 4.1.1 Modelldefinition eines unscharfen linienhaften Geoobjektes

Die Unscharfe räumliche Extension  $R$  eines Geoobjektes  $L$  mit einer linienhaften Objektausprägung kann nach Glemser (2001) folgendermaßen definiert werden:

$L_R = \{(x, y) \mid \mu_{LR}(d(x, y))\}$	<b>Formel 14: Definition eines unscharfen linienhaften Geoobjektes.</b>
---	---

Der Zugehörigkeitswert zur Objektgeometrie  $L$  ist abhängig vom Querabstand  $d$  zur mittleren Liniengeometrie. Die mittlere Liniengeometrie ist per Definition des 9IM der innere Bereich einer Linie. Die Parameter  $x$  und  $y$  geben die Position, Zeile und Spalte der Raumbezugseinheit im Layer eines Kartografischen Modells wieder.

Der innere Bereich eines linienhaften Geoobjektes verfügt in der Regel über zusätzliche Eigenschaften. Die Angabe der Objektbreite ist eine typische Eigenschaft eines linienhaften Geoobjektes. Nach dem BDLM besitzen natürliche Fließgewässer eine Breitenangabe.

Zur Modelldefinition sind hierfür trapezförmige Fuzzy-Intervalle besonders geeignet. Aufgrund unscharfer Informationen hinsichtlich der tatsächlichen Objektbreite schlägt Glemser die Verwendung des Parameters  $b$  für die sichere minimale Breitenausprägung vor. Ein weiterer Parameter  $a$  gibt an, bis zu welcher Distanz  $d$  vom inneren Bereich einer Liniengeometrie eine Lageangabe noch zum Objekt  $L$  gehört. Die Zugehörigkeit, ein quantitatives Möglichkeitsmaß, nimmt bei einer wachsenden Distanz ( $d$ ) zum inneren Bereich der Liniengeometrie stetig ab. Neben dem Querabstand bezieht Glemser zusätzlich den Längsabstand  $d_{A,E}$  zum Rand-Bereich der Liniengeometrie mit

ein. Gemäß dem 9IM wird der Randbereich durch den Anfangspunkt  $A$  und dem Endpunkt  $E$  einer Liniengeometrie definiert. Zur Festlegung der Zugehörigkeitsfunktion zur Berechnung von  $\mu_{L\bar{R}}(d_{A,E})$  wird die Modelldefinition des unscharfen Geometrietyps „Polygon“ empfohlen (vgl. Abschnitt 4.1.2). Zur Kombination der Fuzzy-Mengen der Längs- und Querzugehörigkeit schlägt Glemser den Schnitt beider Fuzzy-Mengen vor.

$\mu_{L\bar{R}} = \min(\mu_{L\bar{R}}(d_{A,E}), \mu_{L\bar{R}}(d))$	<b>Formel 15: Kombination der Längs- und Querzugehörigkeit zur Modellierung einer unscharfen linienhaften Objektgeometrie.</b>
---	--

Die Berücksichtigung der Längs- und Querzugehörigkeit setzt eine gute Kenntnis des Vorgangs der Objektbildung voraus. Eine solche Detailkenntnis ist überwiegend nicht vorhanden. Aus diesem Grund wurde auf eine Betrachtung der Längs-Zugehörigkeit im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Weiterhin würde der Komplexitätsgrad, der unter Kapitel 5 aufgezeigten technischen Realisierung erheblich steigen.

Die Modelldefinition der unscharfen räumlichen Extension des unscharfen Geometrietyps „Linie“ wird durch die Formel 16 in allgemeiner mathematischer Form wiedergegeben. Der Grad der Zugehörigkeit zum unscharfen linienhaften Geoobjekt ergibt sich durch den Querabstand  $d$  zum inneren Bereich der Liniengeometrie.

$\mu_{L_R}(d) = \begin{cases} 0 & \text{für } a < d \\ \frac{a-d}{a-b/2} & \text{für } \frac{b}{2} \leq d \leq a, a \neq 0, b \neq 0, a \neq \frac{b}{2}, \\ 1 & d < \frac{b}{2} \text{ und } d = a = b = 0 \text{ und } a = d = \frac{b}{2} \end{cases}$	<b>Formel 16: Berechnung der Zugehörigkeit zu einem unscharfen linienhaften Geoobjektes.</b>
---	--

Unter Berücksichtigung der Formel 3 und unter der Annahme, dass minimale Breitenangaben existieren oder aus dem Datenmodell abgeleitet werden können, veranschaulicht die Abbildung 16 den Zusammenhang unter Verwendung eines trapezförmigen Fuzzy-Intervalls. Der Parameter  $2a$  beschreibt den Support/Träger, die minimale Breitenangabe  $b$  die Toleranz der Fuzzy-Menge  $\mu_{L_R}$ .

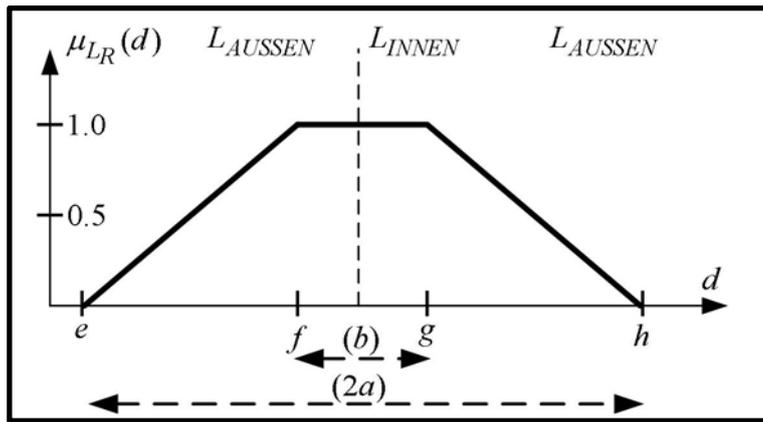


Abbildung 16: Darstellung einer trapezförmigen Zugehörigkeitsfunktion eines unscharfen linienhaften Geoobjektes.

#### 4.1.2 Modelldefinition eines unscharfen flächenhaften Geoobjektes

Die Unschärfe räumliche Extension  $R$  eines flächenhaften Geoobjektes  $F$  kann nach Glemser folgendermaßen definiert werden:

$$F_R = \{(x, y) \mid \mu_{F_R}(d(x, y))\}$$

Formel 17: Definition eines unscharfen flächenhaften Geoobjektes.

Der Zugehörigkeitswert zur Objektgeometrie ist abhängig vom Abstand  $d$  zum Randbereich eines Polygons. Sollte sich die Lageangabe  $(x, y)$  außerhalb des Polygons befinden, wird  $a$  negativ, ansonsten ist  $a$  positiv (Formel 18). Die Unschärfe des Polygons wird demnach maßgeblich vom Parameter  $a$  beeinflusst.

$$\mu_{F_R}(d) = \begin{cases} 0 & \text{für } d < -a, \\ \frac{d+a}{2a} & \text{für } -a \leq d \leq a, a \neq 0, \\ 1 & \text{für } a < d \text{ und } d = a = 0 \end{cases}$$

Formel 18: Definition der Zugehörigkeitsfunktion des unscharfen Rands eines Polygons.

Die Abbildung 17 veranschaulicht den mathematischen Zusammenhang aus der Formel 18. Auch hier kommt die allgemeingültige Definition eines trapezförmigen Fuzzy-Intervalls zum Tragen. Allerdings mit dem Sonderfall, dass die Parameter des Fuzzy-Intervalls gleich sind. In diesem Fall spricht man auch von S-förmigen Fuzzy-Intervallen.

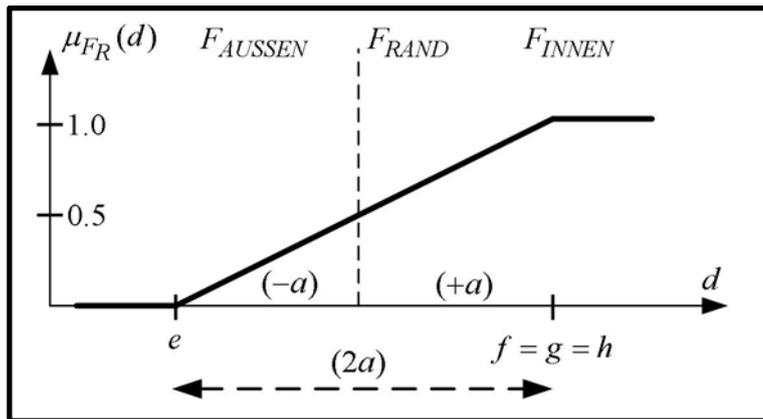


Abbildung 17: Darstellung einer trapezförmigen S-förmigen Zugehörigkeitsfunktion (S-Form) eines unscharfen flächenhaften Geobjektes.

#### 4.1.3 Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches

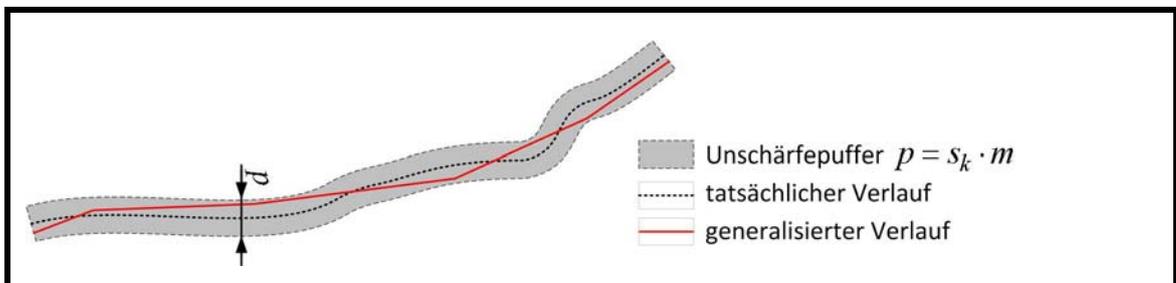


Abbildung 18: Darstellung der sekundären Erfassungsmethode eines Geobjektes durch die Digitalisierung: Durch die Korrelation zwischen dem Erfassungsmaßstab und der zur Verfügung stehenden Informationsdichte entstehen Unschärfen in der lagebeschreibenden und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geobjektes

Geodaten entstehen häufig durch sekundäre Erfassungsmethoden. Die geometrische Auflösung dieser Geodaten ist abhängig von der Maßstabszahl während des Erfassungsvorgangs (vgl. Abbildung 18). Sind der Erfassungsmaßstab und die Modellierungsvorschrift bekannt, kann die Bewertung eines Geobjektes mit Unscharfer räumlicher Extension  $R_M : \bar{G} \rightarrow [0,1]$  erfolgen. Hierfür ist es notwendig, neben der Maßstabszahl  $m$  des Erfassungsmaßstabes auch die geometriebegrenzenden Bereiche gemäß dem 9IM des jeweiligen Geometrietyps und deren Eigenschaften (attributive Merkmalsausprägungen) zu betrachten.

Für unscharfe linienhafte Geobjekte kann, wie bereits im Abschnitt 4.1.1 erwähnt, zusätzlich die minimale Breitenangabe berücksichtigt werden. Sollte diese nicht vorhanden sein, können auch empirische Studien oder Expertenwissen oder regionale landschaftstypische Breitenausprägungen bestimmter Objekte hinzugezogen werden. Um die Unscharfe räumlichen Extension in Bezug zum Maßstabsbereich bei linienhaf-

ten Geoobjekten zu berücksichtigen, müssen gemäß der Formel 16 und unter Verwendung eines trapezförmigen Fuzzy-Intervalls  $(e, f, g, h)_T$  die Parameter  $a$  und  $b$  quantifiziert werden. Der Parameter  $b$  enthält die minimale Breitenangabe, der Parameter  $2a$  errechnet sich aus der Summe des Unschärfepuffer  $p$  mit der minimalen Breitenangabe  $b$ . Der Unschärfepuffer  $p$  ist eine Genauigkeitsabschätzung und kann auch durch mit die geometrische Genauigkeitsangaben ersetzt werden. Sollte die Information einer maximalen Breitenausprägung für das linienhafte Geoobjekt vorliegen und größer als der Unschärfepuffer  $p$  sein, ist  $p$  durch die maximale Breitenausprägung zu ersetzen. Aus dieser Überlegung ergibt sich der Support der Fuzzy-Menge nach der Formel 22.

$2a = b + p$ mit $p = s_k \cdot m$	<b>Formel 19: Berechnung der Parameter für die Fuzzy-Menge zur Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches.</b>
------------------------------------	---

Die Abbildung 19 zeigt die Berücksichtigung der unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches. Dies geschieht durch die Konversion der Darstellungsart (Vektor-Raster). Für flächenhafte Geoobjekte ergibt sich der Parameter  $a$  direkt aus dem Unschärfepuffer mit  $a = \frac{p}{2}$ .

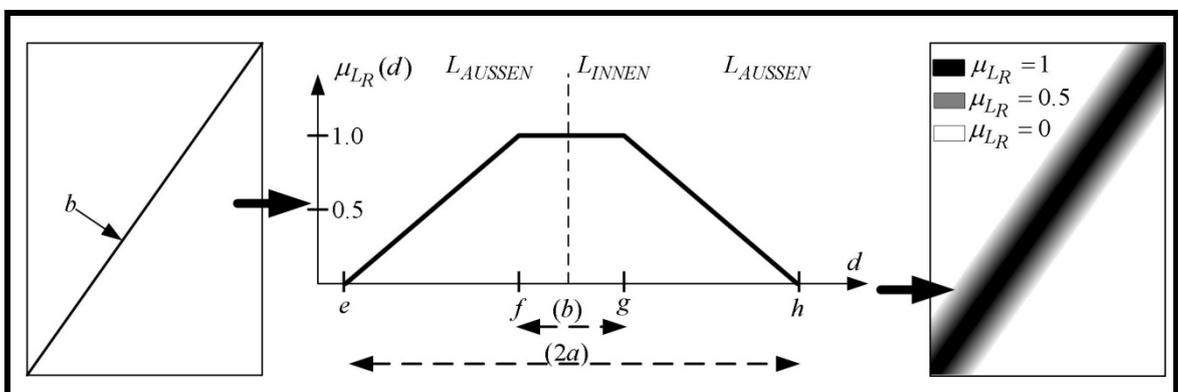


Abbildung 19: Berücksichtigung der unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches (Vektor-Raster Konversion).

### Beispiel

Dieses Beispiel verdeutlicht die Vorgehensweise der Modellierung der Unscharfen räumlichen Extension am Beispiel der Objektart 5101 nach dem BDLM. Das Äquivalent nach dem ATKIS® Fachschema (AAA®-Datenmodell) beschreibt die Objektklasse *AX\_Gewaesserachse*.

Aus der Modellart des BDLM geht der Maßstab hervor. Diese Angabe kann auch den dazugehörigen Metadaten entnommen werden. Ein Objekt des Objektbereiches 5000 mit der Objektart 5101 besitzt demnach die Maßstabszahl  $m=25.000$ . Weiterhin ist durch die Objekteigenschaft BRG die Breite eines linienhaften Geoobjekts mit  $b=6[m]$  bekannt. Mit der Annahme, dass die geometrische Auflösung (kleinste unterscheidbare Linienschwankung) während der Objektbildung der Größe von  $s_k = 2 \cdot 10^{-4}$  entspricht, kann die maximale Unschärfe  $2a$ , ausgehend vom Inneren-Bereich des linienhaften Geoobjektes mit 11[m] bestimmt werden.

#### 4.1.4 Bewertung der Unschärfe räumliche Extension anhand benachbarter Geoobjekte

Eine Änderung der Landnutzung in der Natur kann als kontinuierliche Abnahme landnutzungsprägender Merkmale einer Klasse sowie der Zunahme landnutzungsprägender Merkmale einer anderen Klasse beschrieben werden. Im Vektordatenmodell besitzen Landnutzungsklassen (kategoriale Daten) scharfe Grenzen. Sind die Modellierungsvorschrift sowie die räumlichen benachbarten Landnutzungsklassen im gleichen Datenmodell bekannt, kann die Bewertung eines Geoobjektes mit einer unscharfen räumlichen Extension  $R_N : \overline{G} \rightarrow [0,1]$  erfolgen. Zur Identifikation benachbarter Landnutzungsobjekte muss ein flächendeckender und überschneidungsfreier Geodatenbestand vorliegen. Die Datenbestände der ALK und des BDLM erfüllen diese Anforderung. Aufgrund der geometrischen Aussageschärfe des ALK-Datenbestandes reduziert sich die Modellierung der unscharfen räumlichen Extension anhand benachbarter Geoobjekte auf die Objekte des BDLM.

Die räumliche Ausdehnung der Übergangszonen zwischen benachbarten Objekten ist durch die Modellierungsvorschrift vorgegeben oder durch Feldbegehungen oder durch Expertenwissen zu ermitteln. Je nach Nachbarschaft existieren unterschiedliche Übergangszonen zwischen zwei Objekten. Welche Objekte zur Modellierung der unscharfen räumlichen Extension eines Objektes in Betracht kommen, kann der topologischen Beziehung zwischen dem betrachteten Objekt und den in der gleichen Datenquelle vorkommenden Geoobjekten entnommen werden.

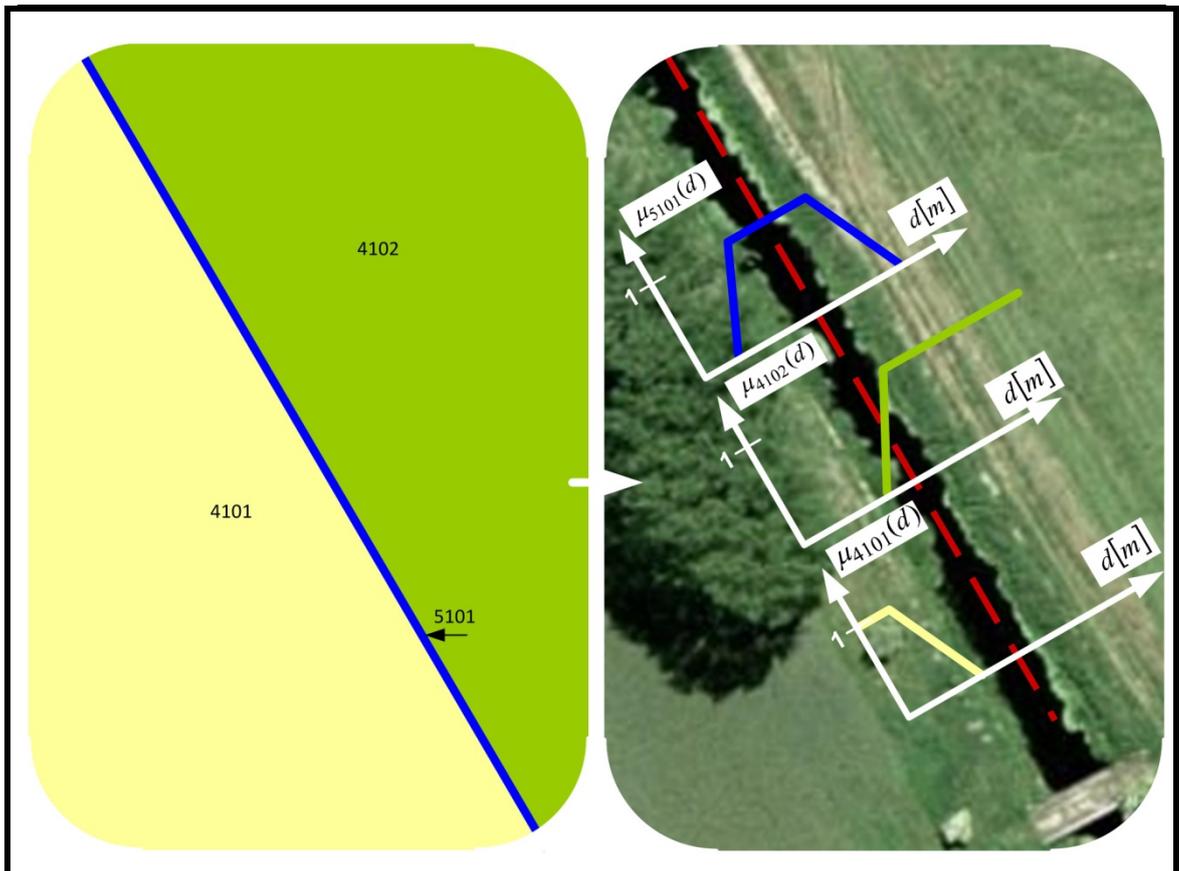


Abbildung 20: links: Beschreibung der Landnutzung einer Region durch Geoobjekte (BDLM). Quelle: WMS-Dienst des Bundesamts für Geodäsie und Kartografie, rechts: Überlagerung der Zugehörigkeitsfunktionen unscharfer räumlicher Extensionen verschiedener Geoobjekte mit dem digitalen Orthophoto. Quelle: WMS-Dienst (DOP) des Bundesamts für Geodäsie und Kartografie

Die Festlegung der Zugehörigkeitsfunktionen, wie sie in der Abbildung 20 dargestellt sind, kann aus der Kombination der Objekteigenschaften (beispielsweise der Breitenangabe der Gewässerachse) mit vorhandenem Expertenwissen erfolgen. Solches Expertenwissen kann für lokale oder regionale Landschaftsausprägungen gelten und Bestandteil einer digitalen Wissensbasis sein. Dabei ist anzumerken, dass das Expertenwissen konsistent mit dem entsprechenden Datenmodell und der zugrundeliegenden Modellierungsvorschrift sein muss. Die Unscharfe räumliche Extension eines Geoobjektes berechnet sich aus dem Komplement der Vereinigungsmenge aller unscharf modellierter Nachbarobjekte (vgl. Formel 20).

$$\mu_{R_M}(d) = 1 - \max(\mu_{N_1}(d), \mu_{N_2}(d), \mu_{N_n}(d))$$

Formel 20: Berechnung der Unscharfen räumlichen Extension aufgrund  $n$  Nachbarobjekte.

### Beispiel

Um die Unscharfe räumliche Extension einer landwirtschaftlichen Nutzfläche mit der Objektart 4101 (BDLM) in einer bestimmten Region zu modellieren, müssen alle Nach-

barobjekte des betrachteten Geoobjektes in dieser Region identifiziert werden. Dies kann durch die topologische Beziehung *Meet* nach dem 9IM für alle Geoobjekte erfolgen. In diesem Beispiel wurden zwei Objekte mit den Objektarten 5101 und 4102 als Nachbarn gefunden. Das Objekt mit der Objektart 5101 ist nach dem BDLM das Abbild eines Grabens.

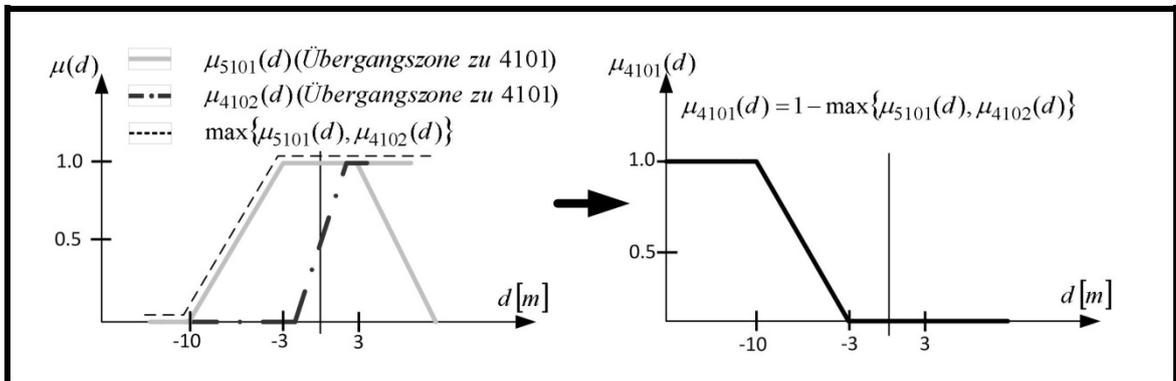


Abbildung 21: Modellierung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes (4101) anhand seiner Nachbarn. Das Äquivalent im AAA® Datenmodell zur Objektart 4101 (BDLM) ist die Objektart 1010.

Das Objekt mit der Objektart 4101 ist das Abbild des Vegetationsmerkmals „Grünland“. Aus den Eigenschaften des Grabenobjekts geht eine Breiteninformation von 6[m] hervor.

Aus der digitalen Wissensbasis ist zu entnehmen, dass zwischen einem Graben mit 6[m] Breite und einer angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzfläche ein Unscharfer Saum mit einer maximalen Ausdehnung von 10[m] besteht. Der Wissensbasis ist weiterhin zu entnehmen, dass die unscharfe Übergangszone zwischen einer landwirtschaftlichen Nutzfläche und Grünland maximal 4[m] misst.

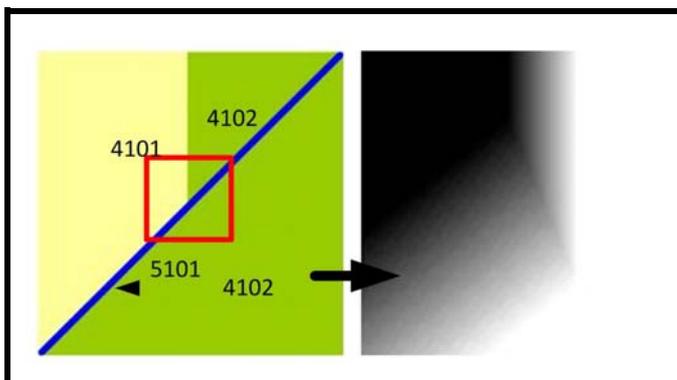


Abbildung 22: Darstellung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes (4101) in einer bestimmten Region.

Es existieren demnach zwei Fuzzy-Mengen, deren Zugehörigkeitsfunktionen aus der Abbildung 21 zu entnehmen sind. Aus beiden Fuzzy-Mengen wird die Vereinigungsmenge mit dem min-Operator gebildet. Die Unscharfe räumliche Extension des Zielob-

jekts in einer bestimmten Region ergibt sich aus dem Komplement der Vereinigungsmenge. Je nach Nachbarschaft in der jeweilig betrachteten Region ergeben sich unterschiedliche Unschärfe-Bereiche (vgl. Abbildung 22).

#### 4.1.5 Aggregation der unscharfen lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen

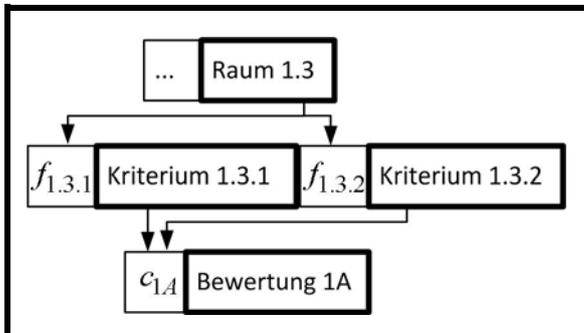


Abbildung 23: Darstellung der Bewertungsaggregation der lagebeschreibenden Eigenschaft.

Existieren zwei Bewertungen der lagebeschreibenden Eigenschaft eines Geoobjektes, müssen diese aggregiert werden. Zwei Bewertungen liegen dann vor, wenn zum einen das Kriterium der unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabes  $R_M$  und zum anderen, dass

der Nachbarschaft  $R_N$  bewertet worden sind. Eine Aggregation beider Bewertungen erfolgt durch den Schnitt der Fuzzy-Mengen  $R_M$  und  $R_N$ .

Die unscharfe Schnittmenge  $R_M \cap R_N$  entspricht dem logischen „UND“ und betrachtet alle Raumbezugseinheiten eines Layers im Kartografischen Modell, die in beiden Fuzzy-Mengen vorkommen. Die Definition der Zugehörigkeitsfunktion von  $R_M \cap R_N$  kann der Formel 21 entnommen werden.

$$\mu_{R_M \cap R_N}(x) = \text{MIN}(\mu_{R_M}(x), \mu_{R_N}(x))$$

**Formel 21: Aggregation zweier Bewertungen hinsichtlich der Unschärfe räumlichen Extension eines Geoobjektes.**

Um Fuzzy-Operatoren wie den Schnitt auf Fuzzy-Mengen anzuwenden, müssen die Skalenniveaus beider Mengen vergleichbar sein. Diese Voraussetzung wird bei der Verwendung normaler Fuzzy-Mengen erfüllt. Subnormale Fuzzy-Mengen müssen vorher in normale Fuzzy-Mengen transformiert werden.

Unter Verwendung des Kartografischen Modells können beide Bewertungen durch die Layer  $\bar{G}_M$  und  $\bar{G}_N$  repräsentiert werden (vgl. Abschnitt 4.1). Mit Hilfe lokaler Rasteroperatoren können diese unter Verwendung der Formel 21 aggregiert werden. Die Aggregation beider Bewertungen wird durch den Layer  $\bar{G}_{M \cap N}$  beschrieben.

---

## 4.2 Bewertung der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geobjektes

Zu den nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geobjektes gehören die thematische und zeitliche Eigenschaftsausprägung. Wie die Merkmalsdimension des Raums, sind auch diese Eigenschaftsausprägungen mit Unschärfen behaftet.

Aus dem Kapitel 4 ist zu entnehmen, dass eine Multiattributive Raumbewertung auf der Grundlage festgelegter Kriterien erfolgt. Diese Kriterien ergeben sich unmittelbar aus der Zieldefinition des Abschnitts 1.3 und sind zum besseren Verständnis nochmals aufgeführt.

- Die Datengrundlage gibt Auskunft über die geografische Lage und Ausdehnung (Extension) einer bestimmten Landnutzung
- Die Datengrundlage muss eine bestimmte, thematisch festzulegende Landnutzung widerspiegeln (beispielsweise Applikationsfläche)
- Die Aktualität der Datengrundlage muss dem Zeitpunkt der Simulation (Expositionsabschätzung) entsprechen

Die folgenden Abschnitte widmen sich der Bewertung der thematischen und zeitlichen Eigenschaft eines Geobjektes.

### 4.2.1 Bewertung der thematischen Eigenschaft eines Geobjektes

Die Bewertung der thematischen Eigenschaft ist notwendig, da die in der Realität vorkommende Landschaftsausprägung, je nach fachlichem Hintergrund, von verschiedenen Datenmodellen beschrieben werden. Ein Datenmodell ist einer bestimmten Fachdisziplin (Domäne) zugeordnet. Eine Landschaftsausprägung kann als Objekt der Landbedeckung oder als Objekt der Landnutzung modelliert werden.

Die Landnutzungsbezeichnung „Acker“ in der Fachdisziplin A kann auf die gleiche real existierende Landschaftsausprägung verweisen, wie die Landnutzungsbezeichnung „Applikationsfläche“ der Fachdisziplin B. Dies setzt aber voraus, dass die formale Definition eines Fachterminus „Ackers“ dem der „Applikationsfläche“ gleich ist. Stützen sich die Definitionen der Fachtermini auf eine zugängliche formal beschriebene Wissensbasis, kann eine Ähnlichkeitsberechnung automatisch erfolgen. Dieses Ähnlichkeitsmaß wird auch als semantisches Ähnlichkeitsmaß bezeichnet und kann domänenübergreifend berechnet werden. Die strukturiert beschriebenen Konzepte sowie deren

---

Bedingungen und Eigenschaften einer Wissensbasis werden als Ontologie bezeichnet (vgl. Abschnitt 2.1). Je nach dem Detailgrad der Wissensmodellierung und der Domäne existieren unterschiedliche Ontologien.

Die zur Verfügung stehenden Geodaten einer Multiattributiven Raumbewertung werden organisations- und auftragsbezogen erhoben. Das semantische Ähnlichkeitsmaß zwischen der thematisch festzulegenden Landnutzung (Ziellandnutzung) und den Landnutzungstypen der vorliegenden Geodaten ist nicht eindeutig bestimmbar und kann nur unscharf angegeben werden. Die Berechnung eines Ähnlichkeitsmaßes setzt die Erstellung und die Verwendung vorhandener Ontologien zur Konzeptmodellierung der thematisch festzulegenden Landnutzung („Applikationsfläche“) voraus. Derzeit ist die Erstellung solcher Domäne-Ontologien nur Spezialisten vorbehalten (Lutz et al. 2008). Die nachfolgenden offenen Fragen dienen der Nachvollziehbarkeit, dass momentan die Nutzung und der Umgang mit Ontologien als problematisch zu bewerten ist:

- Wann ist eine Ontologie als „fertig“ zu betrachten? Hierbei ist eine Konsensfindung mit mehreren Fachdisziplinen anzustreben.
- Wie sind Multilingualitäten und kulturelle Unterschiede bei der Erstellung von Ontologien zu behandeln?
- Geodaten sollen mittels Geo-Web-Diensten *On-Demand* auffindbar und bereitgestellt werden. Zur Exploration von Geofachdaten müssen Ähnlichkeitsberechnungen durchgeführt werden. Behindert eine mögliche kombinatorische Explosion der Konzepte und Relationen komplexer Ontologien den Webzugriff On-Demand?
- Wo sind Ontologien im Umweltbereich zugänglich (Welche sind bereits vorhanden)?
- Wie können Ontologien im Umweltbereich genutzt werden (fehlende Standards)?
- Wie können bestehende Ontologien weiterentwickelt werden?

Die genannten Schwierigkeiten sind nicht nur in der Geoinformatik anzutreffen, sondern hemmen derzeit auch die Entwicklung des Semantischen Web (*Semantic Web*). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Problematik der Ähnlichkeitsberechnung mit dem folgenden pragmatischen Ansatz begegnet:

Die formalen Zusammenhänge zwischen den Fachtermini verschiedener Landnutzungsarten einer Fachdisziplin und der Ziel-Landnutzung wurden nicht berechnet, son-

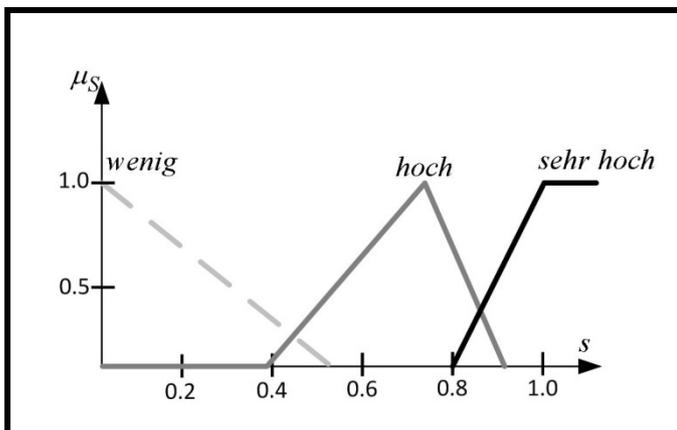
---

dem durch einen Meinungskonsens eines Expertenteams festgelegt. Für die Ziel-Landnutzung wurde der Fachterminus „Applikationsfläche“ kreiert.

**Tabelle 14:** Auszug aus der Datenbank, welche die Ähnlichkeitsmaße zwischen der Ziel-Landnutzung „Applikationsfläche“ und den differierenden Fachtermini persistent vorhält.

Obj. Katalog	Obj.-Bereich	Bedeutung	Obj.-Art	Ähnlichkeitsmaß
ALK (OSKA BB)	021-1000	Gebäude u. Freifl.	021-1xxx	0.0
ALK (OSKA BB)	021-6000	Landwirtschaftsfl.	021-6100	0.8
ATKIS® -Basis-DLM	4100	Vegetationsfl.	4101	0.7
...	...	...	...	...
Feldblockkataster	AL	Ackerland	AL	0.9

Aus den verfügbaren Datengrundlagen müssen nun die Geoobjekte hinsichtlich der Ziel-Landnutzung bewertet werden. Hilfreich hierfür ist die Objektbereichsstruktur des ATKIS®-Objektkatalogs, sowie des OSKA der ALK. Die Objektbereichsstruktur vereinfacht die Zuordnung von Ähnlichkeitsmaßen erheblich. Ein Objektbereich, welcher mit einer Ähnlichkeit von 0 bewertet wurde, „vererbt“ diese Eigenschaft an alle Objekte dieses Bereiches. Diese Regel gilt beispielsweise für Bebauungs- oder versiegelte Flächenobjekte unter der Annahme, dass die Ziel-Landnutzung der Definition einer „Applikationsfläche“ zugeordnet ist. Die Nutzung der Objektbereiche für die Zuordnung von Ähnlichkeitsmaßen zwischen der Ziel-Landnutzung und bestimmten Objektklassen, minimiert die Anzahl der Relationen. Damit wird eine effiziente Datenhaltung erreicht. Für die Objekte, die im Objektbereich der Vegetation zusammengefasst wurden, sind Ähnlichkeitsmaße zwischen 0 und 1 festgelegt (vgl. Tabelle 14).



**Abbildung 24:** Darstellung der Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen (lineare Flanken) der unscharfen linguistischen Termen „wenig“, „hoch“ und „sehr hoch“ der Variablen „Ähnlichkeit“.

Das Messniveau der Ähnlichkeitsmaße unterlag einer Ratioskala ([0,1], 1- maximale Ähnlichkeit). Neben den Objekteigenschaften wurde zur Bestimmung des Ähnlichkeitsmaßes auch der Maßstabsbereich berücksichtigt.

Das begründet sich dadurch, dass die Informationsdichte bei ungleichen Maßstabsebenen differiert. Dieser Umstand wird durch die Aussageschärfe der

merkmalsbestimmenden Objektausprägung beeinflusst. Unter Berücksichtigung des Konzepts der unscharfen Mengen kann die Ähnlichkeit auch als unscharfe linguistische Variable aufgefasst werden. Die Abbildung 24 zeigt exemplarisch den Zusammenhang zwischen dieser Variablen und den dazugehörigen, unscharfen linguistischen Termen. Der Wertebereich der Variablen „Ähnlichkeit“ ist zwischen 0 und 1 festgelegt worden.

#### 4.2.2 Bewertung der zeitlichen Eigenschaft eines Geobjektes

Neben dem Ähnlichkeitsmaß zwischen der Ziel-Landnutzung und den verschiedenen Fachtermini differierender Geodatenressourcen, ist auch die Aktualität der Datenquelle zu berücksichtigen.

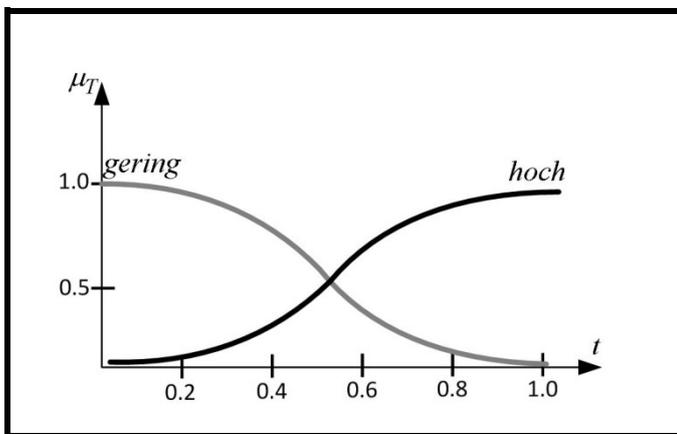


Abbildung 25: Darstellung der Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen (Glockenkurven-Form) der unscharfen linguistischen Termen „gering“, und „hoch“ der Variablen „Aktualität“.

In den vorangegangenen Abschnitten wurde als Ziel definiert, dass eine harmonisierte Datengrundlage hinsichtlich einer thematisch festzulegenden Landnutzung die Basis einer erneuten Expositionsabschätzung sein soll. Der Zeitpunkt der Expositionsabschätzung muss demzufolge kon-

sistent mit der Datengrundlage sein. Es ist zu klären, welcher Datenbestand aufgrund seines Erhebungszeitraums noch als „Aktuell“ gilt. Zur Bewertung der Eigenschaft „Aktualität“ wurden Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen (vgl. Abbildung 25) verwendet. Die unter Abschnitt 3.5 aufgeführten Datenquellen und deren Objektinstanzen weisen alle einen Zeitstempel auf. Das zukünftige AAA<sup>®</sup>-Datenmodell unterstützt die Anforderungen qualitätsbeschreibender Eigenschaften hinsichtlich der Zeitangabe der Datenentstehung explizit. Sowohl in der Modellart des ATKIS<sup>®</sup> als auch in der Modellart des ALKIS<sup>®</sup> ist die Eigenschaft „Lebenszeitintervall“ wiederzufinden. Die Daten des digitalen Feldblockkatasters besitzen ebenfalls den Zeitstempel der Datenaktualität. Der Wertebereich der Variablen „Aktualität“ ist zwischen 0 und 1 festgelegt worden. Die Bewertung der Eigenschaft „Zeit“ ergibt sich aus einer linearen Interpolation. Geodaten deren Entstehungsdaten älter als 10 Jahre sind, werden mit 0 bewertet. Geodaten deren Entstehungsdaten dem aktuellen Datum entsprechen, werden mit 1 bewertet.

### 4.2.3 Aggregation der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen

Die Aggregation der Bewertungen der thematischen- sowie der zeitlichen Eigenschaften wurde durch ein FRS realisiert. Es bestand die Anforderung ein FRS zu entwerfen, welches für alle infrage kommenden Geodaten genutzt werden kann. Somit ist das FRS nur einmal experimentell zu entwerfen.

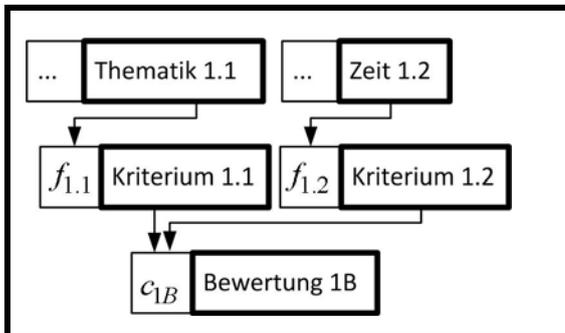


Abbildung 26: Darstellung der Bewertungsaggregation der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften.

Ein anderer Ansatz ist der Entwurf eines Regelsystems für eine feststehende und bekannte Auswahl differierender Geodatenressourcen. Der Nachteil dieses Ansatzes ist, dass bei Nichtverfügbarkeit einer Geodatenressource beziehungsweise bei der Hinzufügung neuer Ressourcen das Regelsystem anzupassen wäre. Neben dem

hohen technischen Aufwand, ist seitens der Industrie und Politik durch ein ständig wechselndes Verhalten des FRS wenig Akzeptanz zu erwarten.

Das FRS, welches die Bewertung der Kriterien „Ähnlichkeit“ und „Aktualität“ in einer Bewertung aggregiert, wurde nach dem Ansatz von Mamdani entworfen. Die Bewertungsfunktion für die thematische Eigenschaft eines Geoobjektes ist eine Zuordnung eines Ähnlichkeitsmaßes in Abhängigkeit einer Ziel-Landnutzung. Zukünftig kann eine Zuordnung durch die automatisierte Berechnung eines semantischen Ähnlichkeitsmaßes unter Verwendung von Domäne-Ontologien ersetzt werden. Die Fuzzyifizierung erfolgt durch die Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen linguistischen Termen „wenig“, „hoch“ und „sehr hoch“ des Kriteriums „Ähnlichkeit“ (vgl. Abbildung 24).

Die Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen Terme des Kriteriums „Aktualität“, können der Abbildung 25 entnommen werden und werden in der Tabelle 15 als Zugehörigkeitsfunktionen in Form einer Glockenkurve spezifiziert. Über die Regelbasis des FRS geben die Tabellen 16-17 Auskunft.

Die Festlegungen der Fuzzy-Intervalle sowie die der Regelbasis wurden durch ein Expertenteam vorgenommen. Aus der Regelbasis ist die Besonderheit eines Mamdani-

Regelsystems, nämlich die Modellierung von intuitiven menschlichen Entscheidungsverhalten in Form von unscharfen linguistischen Termen zu entnehmen.

**Tabelle 15: Spezifikation von Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der fuzzifizierten Kriterien Ähnlichkeit und Aktualität für ein FRS nach dem Ansatz von Mamdani.**

linguistische Variable	linguistischer Term	Fuzzy-Intervalle (Partitionierung)
semantische Ähnlichkeit (1.1)	wenig	$(0.00,0.00,0.00,0.55)_T$
semantische Ähnlichkeit (1.1)	hoch	$(0.40,0.75,0.75,0.90)_T$
semantische Ähnlichkeit (1.1)	sehr hoch	$(0.80,1.00,1.00,1.00)_T$
Aktualität (1.2)	gering	$(0.30,0.00)_G$
Aktualität (1.2)	hoch	$(0.30,1.00)_G$

**Tabelle 16: Spezifikation von Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der Schlussfolgerung/Konklusion für ein FRS nach dem Ansatz von Mamdani.**

Konklusion	linguistische Teilkonklusion	Fuzzy-Intervalle (Partitionierung)
Zugehörigkeit zur momentanen Landnutzung „Applikationsfläche“ (1B)	kaum	$(0.00,0.00,0.00,0.20)_T$
Zugehörigkeit zur momentanen Landnutzung „Applikationsfläche“ (1B)	wenig	$(0.15,0.25,0.35,0.60)_T$
Zugehörigkeit zur momentanen Landnutzung „Applikationsfläche“ (1B)	hoch	$(0.55,0.75,0.85,1.00)_T$
Zugehörigkeit zur momentanen Landnutzung „Applikationsfläche“ (1B)	sehr hoch	$(0.80,1.00,1.00,1.00)_T$

**Tabelle 17: Spezifikation der Regelbasis des FRS nach dem Ansatz von Mamdani.**

<b>If (1.1 IS „hoch“) AND (1.2 IS „hoch“) THEN (1B IS „hoch“)</b>
<b>If (1.1 IS „hoch“) AND (1.2 IS „gering“) THEN (1B IS „wenig“)</b>
<b>If (1.1 IS „wenig“) AND (1.2 IS „gering“) THEN (1B IS „kaum“)</b>
<b>If (1.1 IS „wenig“) AND (1.2 IS „hoch“) THEN (1B IS „wenig“)</b>
<b>If (1.1 IS „sehr hoch“) AND (1.2 IS „gering“) THEN (1B IS „wenig“)</b>
<b>If (1.1 IS „sehr hoch“) AND (1.2 IS „hoch“) THEN (1B IS „sehr hoch“)</b>

Die Abbildung 27 zeigt die dreidimensionale Oberfläche eines Regelsystems, dessen Systemparameter und Regelbasis in den Tabellen 15-17 beschrieben sind. Die dritte

Dimension wird durch den Stellgrößenwert „Momentane Landnutzung Applikationsfläche“ nach der Defuzzifizierung mit der COG-Methode im Wertebereich zwischen 0 und 1 repräsentiert. Die Verwendung einer anderen Defuzzifizierungsmethode würde das Regelverhalten beeinflussen. Dies würde auch eine der Änderung der Oberfläche nach sich ziehen.

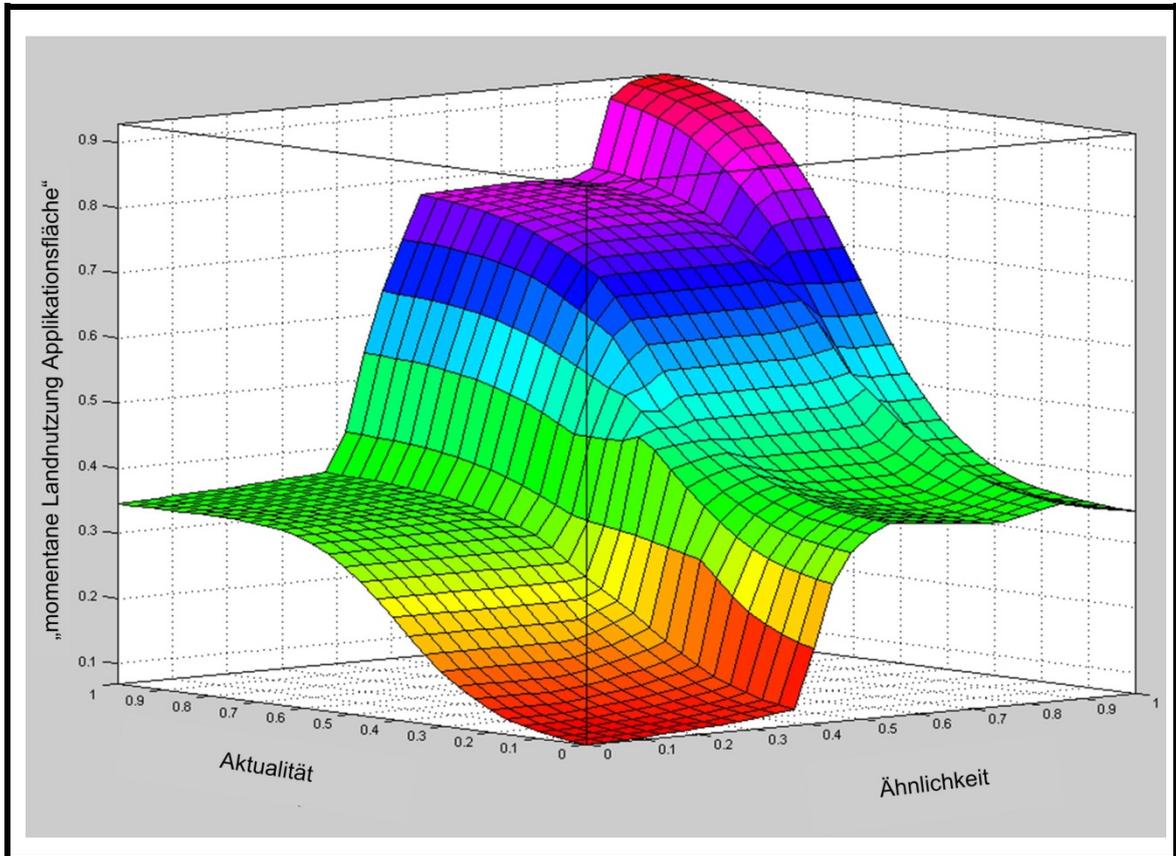


Abbildung 27: : Darstellung der dreidimensionalen Oberfläche des Stellgrößenberechnung mit der COG-Methode für ein FRS nach dem Ansatz von Mamdani (Systemparameter: Tabellen 15-17).

Aus der dreidimensionalen Oberflächenform ist zu entnehmen, dass zwischen den Variablen „Ähnlichkeit“ und „Aktualität“ nur partiell ein linearer Zusammenhang besteht. Diesen Zusammenhang zeigen die teilweise gekippten Ebenen in der Oberfläche an. Weiterhin fällt auf, dass sprunghafte Stellgrößenänderungen vorkommen. Eine sprunghafte Stellgrößenänderung, kann bei der Änderung des Tupels der Eingabewerte „Aktualität“ und „Ähnlichkeit“ von [0.0 0.4] auf [0.0 0.5] beobachtet werden. Ein solches Verhalten des FRS ist zu vermeiden. Es ist fachlich nicht begründbar, warum bei einer geringen Änderung der Aktualität ein Anstieg zur Zugehörigkeit zur „Momentanen Landnutzung Applikationsfläche“ um den fünffachen Wert einhergeht. Die Änderungen Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen linguistischen Terme in Form und Parametrisierung sowie der der Entscheidungsregeln, beeinflusst die Stellgröße maßgeb-

lich. Die Skala der aggregierten Bewertungen ist wiederum eine Ratioskala im normierten Bereich  $[0,1]$ . Das bedeutet, dass die Stellgröße einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Stellgröße des vorgestellten FRS nach Mamdani nicht den Erwartungen entsprach. Aus diesem Grund wurde eine Anpassung der Systemparameter und der Regelbasis unter Verwendung eines Neuro-Fuzzy-Systems vorgenommen. Die dafür notwendigen Trainingsdaten (Meta-Wissen) sind dem Anhang A beigelegt. Aus der Tabelle 19 ist zu entnehmen, dass die Schlussfolgerungen der Kontrollregeln keinen linearen Zusammenhang zwischen den Eingabedaten beschreiben, sondern nur aus Konstanten bestehen (Polynome 0ter Ordnung). Der Ausgabewert (Stellgröße) berechnet sich durch die gewichtete Summe der Konstanten. Das Gewicht ergibt sich durch den Erfüllungsgrad der Prämissen. Bei der Verwendung von Polynomen höherer Ordnung würde die Differenz zwischen den Trainingsdaten und der berechneten Stellgröße des Regel-Systems minimiert werden. Die Genauigkeitssteigerung wird durch eine Zunahme des Rechenaufwandes erreicht. Die Abbildung 28 zeigt, dass die maximale Differenz zwischen den Trainingsdaten und einem, mit nur Konstanten, parametrisierten Regel-System bei 0.05 liegt. Unter Berücksichtigung der Anforderung und einem, gegenüber der Differenz, großem Wertebereich  $[0,1]$  wurde dieser Fehler akzeptiert.

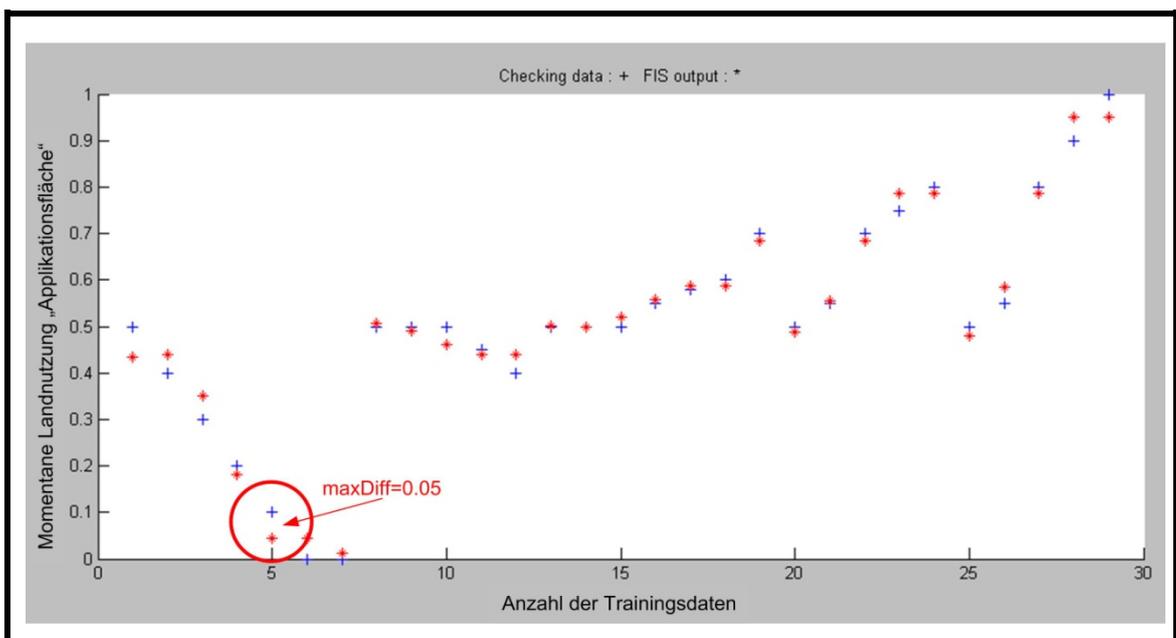


Abbildung 28: Differenzplot zwischen der Berechnung des Stellwert durch ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi und den dazugehörigen Trainingsdaten.

**Tabelle 18: Spezifikation von Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen der fuzzifizierten Kriterien „Ähnlichkeit“ und „Aktualität“ für ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi.**

Eingangsgröße	linguistischer Term	Fuzzy-Intervalle (Partitionierung)
Semantische Ähnlichkeit (1.1)	wenig	$(0.00,0.00,0.15,0.35)_T$
Semantische Ähnlichkeit (1.1)	hoch	$(0.19,0.36,0.62,0.95)_T$
Semantische Ähnlichkeit (1.1)	sehr hoch	$(0.45,0.81,1.15,1.35)_T$
Aktualität (1.2)	gering	$(0.00,0.00,0.32,0.76)_T$
Aktualität (1.2)	hoch	$(0.30,0.72,1.30,1.70)_T$

**Tabelle 19: Konstanten der Polynome 0ter Ordnung für die Schlussfolgerung/Konklusion für ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi.**

Konklusion	Kontrollregeln (Polynome nullter Ordnung)
$c_1$	$c_1 = 0.43$
$c_2$	$c_2 = 0.01$
$c_3$	$c_3 = 0.50$
$c_4$	$c_4 = 0.43$
$c_5$	$c_5 = 0.48$
$c_6$	$c_6 = 1.00$

**Tabelle 20: Spezifikation der Regelbasis des FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi.**

<b>IF</b> (1.1 IS „wenig“) <b>AND</b> (1.2 IS „gering“) <b>THEN</b> $c_1$
<b>IF</b> (1.1 IS „wenig“) <b>AND</b> (1.2 IS „hoch“) <b>THEN</b> $c_2$
<b>IF</b> (1.1 IS „hoch“) <b>AND</b> (1.2 IS „gering“) <b>THEN</b> $c_3$
<b>IF</b> (1.1 IS „hoch“) <b>AND</b> (1.2 IS „hoch“) <b>THEN</b> $c_4$
<b>IF</b> (1.1 IS „sehr hoch“) <b>AND</b> (1.2 IS „gering“) <b>THEN</b> $c_5$
<b>IF</b> (1.1 IS „sehr hoch“) <b>AND</b> (1.2 IS „hoch“) <b>THEN</b> $c_6$

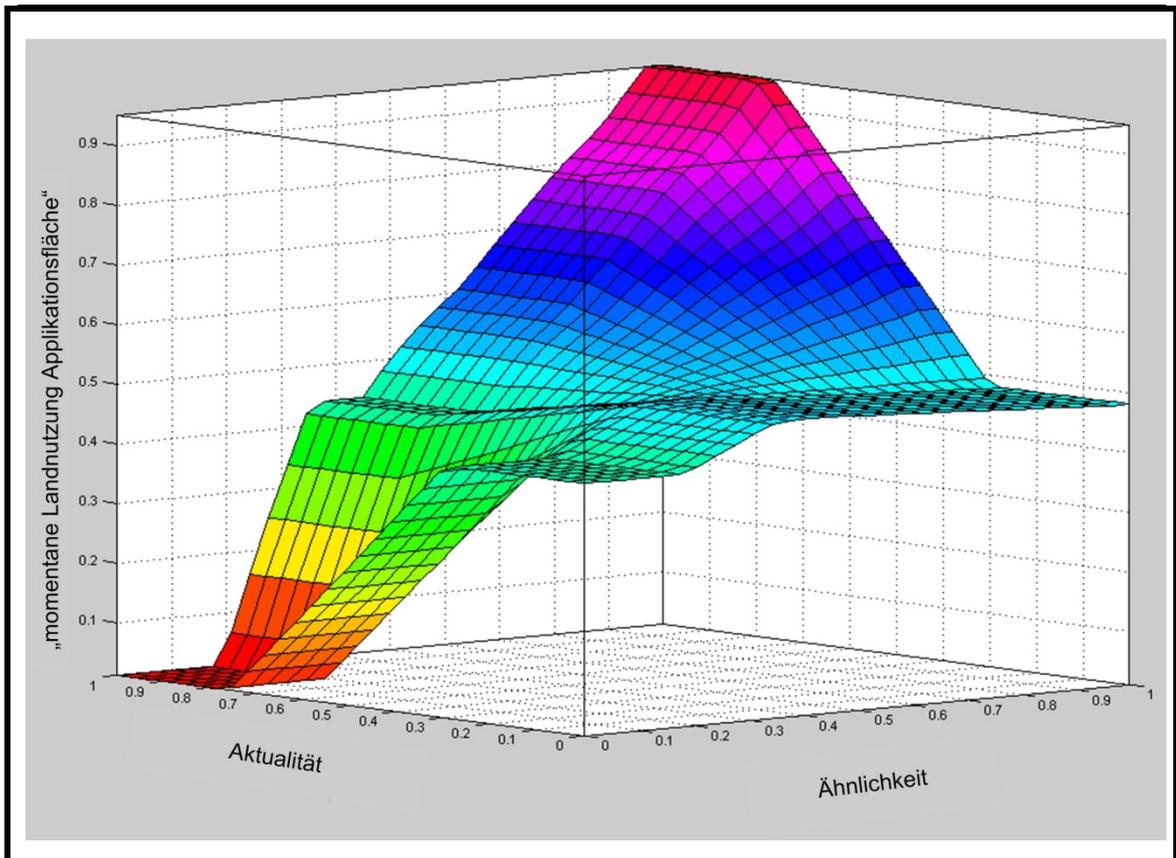


Abbildung 29: Darstellung der dreidimensionalen Oberfläche des Stellgrößenberechnung für ein FRS nach dem Ansatz von Sugeno/Takagi (Systemparameter Tabellen 19-21).

Dieses FRS nach Sugeno/Takagi beschreibt die zusammenfassende Bewertung der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften und wird zur Berechnung der Gesamtbewertung herangezogen.

#### 4.3 Gewichtung und Aggregation der Bewertungen zu einem Gesamtergebnis

Geodaten wurden, wie in den vergangenen Abschnitten dargestellt, hinsichtlich ihrer Merkmalsdimensionen Raum, Zeit und Thematik bewertet.

$\mu_{c_{Agg}} = \begin{cases} 1 & \text{für } \frac{\sum_{i=1}^n c_{iA} \cdot c_{iB}}{\sum_{i=1}^n c_{iA}} \geq s_{\min} \\ 0 & \text{für } \frac{\sum_{i=1}^n c_{iA} \cdot c_{iB}}{\sum_{i=1}^n c_{iA}} < s_{\min} \end{cases}$	<p><b>Formel 22: gewichtete Gesamtbewertung</b></p>
---	---

Die Gesamtbewertung ergibt sich aus den Bewertungen A und B. Die Bewertungen A und B erfolgte auf Grundlage der aggregierenden Funktionen (Abschnitt 4.1.5) und dem FRS, wie im Abschnitt 4.2.3 beschrieben.

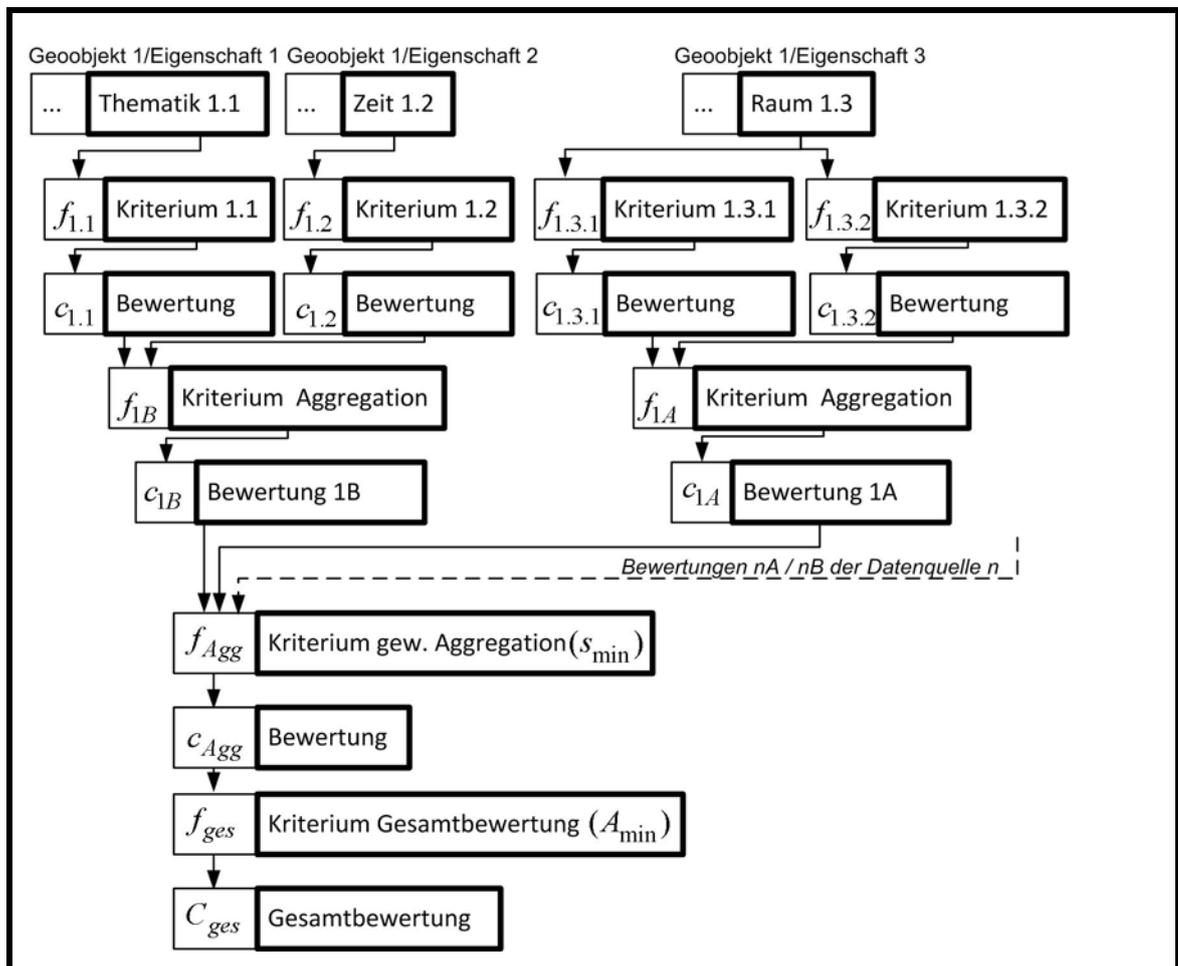


Abbildung 30: Darstellung eines allgemeingültigen Berechnungsgraphen einer Multiattributiven Raumbewertung mit  $n$  verschiedenen Datenquellen.

Für die Gesamtbewertung können mehrere Datensätze existieren. Die aggregierte Bewertung der Unschärfe räumlicher Extension (A) bestimmt das Gewicht der aggregierten Bewertung der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaft (B).

Die gewichtete Gesamtbewertung erfolgt pro Raumbezugseinheit eines Layer im Kartografischen Modell. Wie aus der Formel 22 ersichtlich, erfolgt nach der gewichteten Summe der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften eines Geobjektes eine Skalentransformation in eine endliche Ordinalskala  $[0,1]$ . Die Entscheidung, welchen Wert die Raumbezugseinheit des Layers der Gesamtbewertung zugewiesen wird, ist abhängig von dem Mindestähnlichkeitsmaß  $s_{min}$  zu der Ziellandnutzung. Die Raumbezugseinheiten des neuen Layer  $c_{Agg}$  mit der Werteausprägung  $\mu_{c_{Agg}}$  können je nach Ergebnis

der Gesamtbewertung unterschiedlichen räumlichen Clustern  $C_j$  zugehörig sein. Diese Cluster werden durch das Kriterium einer Mindestflächengröße  $A_{\min}$  räumlich aggregiert (vgl. Formel 23). Die harmonisierte Datengrundlage ist dann ein Layer im Kartografischen Modell mit einer Zone  $C_{ges}$ . Die Mindestflächengröße kann je nach Anwendungsfall unterschiedlich sein und ist abhängig von den subjektiven Kriterien des Bewertenden. Im Kontext der Arbeit wurde angenommen, dass eine industrielle Bewirtschaftung von Obstanbauflächen unter 100 [m<sup>2</sup>] realitätsfern ist. Formfaktoren können zusätzlich zur Bewertung der Cluster mit einbezogen werden. Mit ihrer Hilfe können die im Zusammenhang einer Gesamtbewertung, entstehenden Artefakte (Splitterpolygone) identifiziert und eliminiert werden. Die Berechnung und Bewertung solcher Artefakte kann mit dem Shape-Index vorgenommen werden (Forman & Godron 1986).

$C_{ges} = C_j \subseteq C_{ges}   C_j \geq A_{\min}$	<b>Formel 23: Räumliche Aggregation der Gesamtbewertung</b>
---	---

### Beispiel

Im Folgenden werden die notwendigen Arbeitsschritte einer Multiattributiven Raumbewertung zweier Geobjekte als Nutzungsorientierte Eignungsbewertung im Kontext dieser Arbeit vorgestellt. Der Berechnungsgraph (vgl. Abbildung 30) wird unter Berücksichtigung der kartografischen Modellbildung umgesetzt. Die Geobjekte stammen aus unterschiedlichen Datenquellen mit unterschiedlichen Modellierungsvorschriften.

**Tabelle 21: Auflistung der Eigenschaften zweier Geobjekte.**

Eigenschaften	Bemerkung	Geobjekt 1	Geobjekt 2
1.1	Nicht lagebeschreibende Eigenschaften (Thematik)	Baumreihe	Feldblock
1.2	Nicht lagebeschreibende Eigenschaft (Zeit)	20.07.2008	11.10.2006
1.3	Lagebeschreibende Eigenschaft	M=1:25.000, Breite=10 [m]	M=1:10.000

Beide Geobjekte entstammen aus einem nicht flächendeckenden und überschneidungsfreien Geodatenbestand. Demzufolge beschränkt sich die Bewertung der lagebeschreibenden Eigenschaften auf die Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabbereiches (vgl. 4.1.3).

Tabelle 22: Darstellung der Bewertungen der lagebeschreibenden und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften einschließlich der Gesamtbewertung. Für die lagebeschreibenden Eigenschaften wurden die Parameter der Bewertungsfunktionen angegeben.

Kriterien/Bewertungen	Geoobjekt 1	Geoobjekt 2
$f_{1.1}/c_{1.1}$	Geoobjekt muss der Ziel-Landnutzung „Applikationsfläche“ ähnlich sein / Ähnlichkeitsmaß wurde mit 0 festgelegt (Bewertungsskala [0,1], 1=volle Ähnlichkeit)	Geoobjekt muss der Ziel-Landnutzung „Applikationsfläche“ ähnlich sein / Ähnlichkeitsmaß wurde mit 0.8 festgelegt (Bewertungsskala [0,1], 1=volle Ähnlichkeit)
$f_{1.2}/c_{1.2}$	Geoobjekt muss aktuell sein/ Aktualität ist mit 0.9 bewertet worden (Bewertungsskala [0,1], 1=heutiges Datum)	Geoobjekt muss aktuell sein/ Aktualität ist mit 0.8 bewertet worden (Bewertungsskala [0,1], 1=heutiges Datum)
$f_{1.3.1}/c_{1.3.1}$	Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches/  2a = 15[m]; b = 10[m] mit $s_k = 2 \cdot 10^{-4}$ (vgl. Abschnitt 4.1.1)	Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereiches/  2a = 2[m] (vgl. Abschnitt 4.1.2)
$f_{1.3.2}/c_{1.3.2}$	Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension anhand benachbarter Geoobjekte/ entfällt- da kein flächendeckenden und überschneidungsfreien Geodatenbestand	Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension anhand benachbarter Geoobjekte/ entfällt- da kein flächendeckenden und überschneidungsfreien Geodatenbestand
$f_{1A}/c_{1A}$	Aggregation der unscharfen lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen (Fuzzy-Schnitt, vgl. Abschnitt 4.1.5)	Aggregation der unscharfen lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen (Fuzzy-Schnitt, vgl. Abschnitt 4.1.5)
$f_{1B}/c_{1B}$	Die Bewertungskriterien fasst das Fuzzy- Regel-System zusammen/ Aggregation der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen (FRS nach Sugeno/Takagi, vgl. Abschnitt 4.2.3)	Aggregation der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaftsbewertungen (FRS nach Sugeno/Takagi, vgl. Abschnitt 4.2.3)
$f_{Agg}/c_{Agg}$	vgl. Formel 22	
$f_{ges}/c_{ges}$	vgl. Formel 23	

Die Bewertungsfunktion der aggregierenden Bewertungen der nicht lagebeschreibenden Eigenschaften, basiert auf ein FRS nach Sugeno/Takagi. Die Eingabewerte des Fuzzy-Regel-Systems sind die Bewertungen der Kriterien „Ähnlichkeit“ und „Aktualität“.

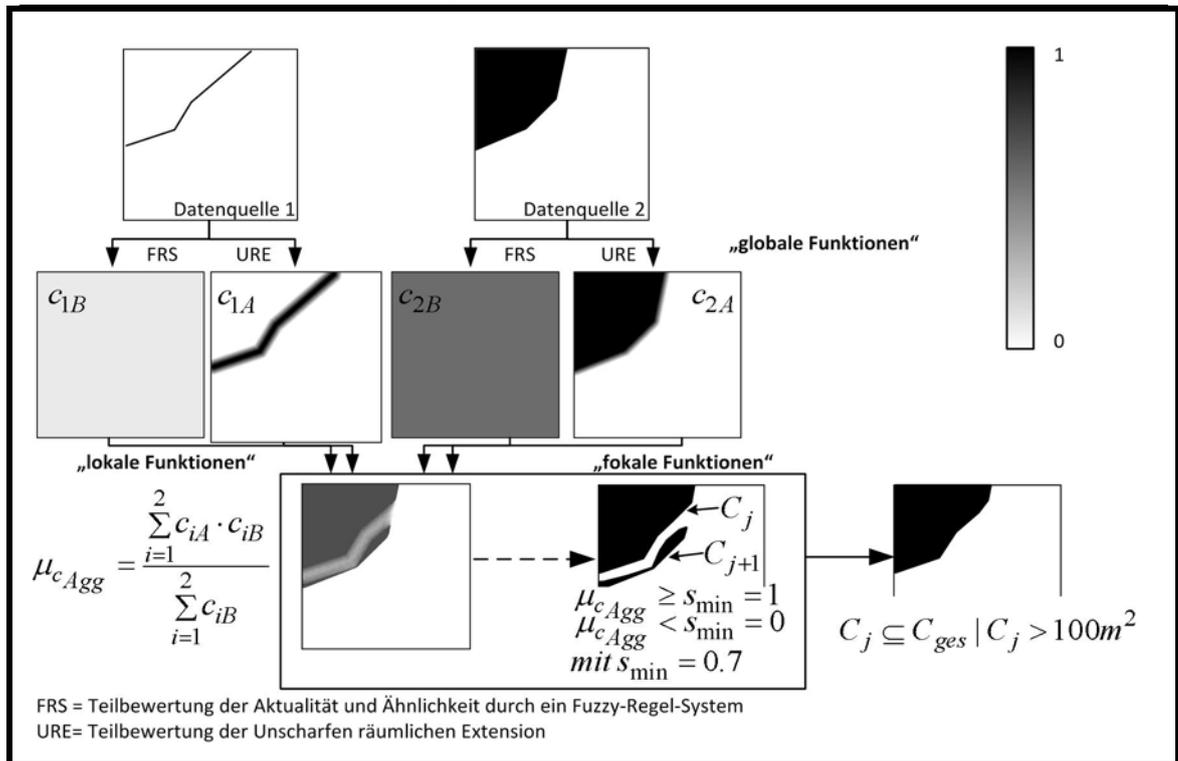


Abbildung 31: Darstellung des Berechnungsgraphen einer beispielhaften Umsetzung einer Multiattributiven Raumbewertung mit zwei unterschiedlichen Geobjekten im Kartografischen Modell.

Die Parametrisierung der dazugehörigen Regelbasis des FRS entspricht dem Ansatz von Sugeno/Takagi (vgl. Tabelle 19). Die Bewertungsergebnisse werden jeweils durch einen Layer im Kartografischen Modell abgebildet. Mit den Eingabewerten aus Tabelle 22 ergibt sich für das Geobjekt 1 eine Stellgröße von 0.01, für das Geobjekt 2 eine Stellgröße von 0.79. Die gewichtete Gesamtbewertung erfolgte auf Grundlage der Formel 22. Dabei kommen lokale Funktionen der MapAlgebra zum Einsatz. Die Skalentransformation (Ratioskala-> endliche Ordinalskala) erfolgte durch ein angenommenes Mindestähnlichkeitsmaß von 0.7. Dies entspricht dem Ähnlichkeitsmaß zwischen der Ziel-Landnutzung und dem Ackerobjekt des BDLM. Das Ackerobjekt ist im derzeitigen Verfahren als Repräsentant einer Applikationsfläche akzeptiert. Wie in der Abbildung 31 dargestellt, erfolgt im letzten Schritt der Gesamtbewertung die räumliche Aggregation der Raumbezugsseinheiten zu einem Cluster mit fokalen Operationen. Ein solcher Cluster wird im Kartografischen Modell als Zone bezeichnet. Auf der nun vorliegenden harmonisierten Datengrundlage kann eine erneute Expositionsabschätzung erfolgen. Die Ergebnisse einer erneuten Expositionsabschätzung werden im Kapitel 6 vorgestellt.

## 5 Technische Umsetzung einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten

Der bisher vorgestellte Ansatz zur Bewertung eines Geoobjektes hinsichtlich der Merkmalsdimensionen Raum, Zeit und Thematik stützt sich, insbesondere bei der Modellierung der Unschärfe, auf die kartografische Modellbildung. Aus dem Abschnitt 3.3.2 ist zu entnehmen, dass die Nutzung verteilter Geodaten über standardisierte Geo-Web-Dienste erfolgt. Zum Austausch und zur Visualisierung von Vektordaten sind der WFS und der WMS zu nennen. Der WMS kann optional auch mit dem *StyleLayer-Descriptor (SLD)* Profil erweitert werden (OGC 2007b). Diese Spezifikation ermöglicht die Konfiguration der Kartengestaltung (Visualisierung) auf der Anwendungsseite (Client-Seite). Die Kombination WMS/SLD und WFS für die gleiche Geodatenressource ist häufig anzutreffen. Ein WMS/SLD mit der optionalen Methode *DescribeLayer* verweist auf einem WFS der gleichen Geodatenressource. Dadurch wird die die Kartengestaltung nach objektspezifischen Eigenschaften ermöglicht. Diese Technik soll im Folgenden genutzt werden, um mit den Standards WMS/SLD und WFS eine Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geodaten auf technischer Ebene zu ermöglichen.

### 5.1 Kartografisches Modell versus OGC-WMS

Tabelle 23: Eine vergleichende Analyse zwischen den Hauptelementen eines Kartografischen Modells sowie einem Web-Map-Service (WMS).

Element eines Kartografischen Modells	OGC-WMS
Layer	Ein Layer wird durch einen WMS-Dienst repräsentiert. Dieser Dienst gibt beispielsweise Auskunft über die Landnutzung.
Titel des Layer	Ein Titel muss für jeden Layer definiert sein und ist nicht vererbbar.
Auflösung des Layer	Die Auflösung ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen den Parametern <i>BBox</i> sowie <i>Width/Height</i> eines WMS- Aufrufs.
Orientierung des Layer	Die Orientierung ist durch die Angabe des Parameters <i>CRS</i> gegeben.
Zone	Das Äquivalent der Zone im Kartografischen Modell, ist ein Layer eines WMS Dienstes.
Ort	Der Ort wird durch die Zelle der zurückgelieferten Rastergrafik definiert.

Aus der Tabelle 23 ist zu entnehmen, dass ein WMS starke Ähnlichkeit mit den Eigenschaften bzw. Elementen eines Kartografischen Modells aufweist. Die Problematik besteht darin, dass ein Kartografisches Modell Rasterdaten-, ein WMS Grafikdaten reprä-

sentiert. Aus dem Kapitel 4 ist zu entnehmen, dass die Kriterienbewertung sowie die gewichtete Gesamtbewertung mit Hilfe lokaler Funktionen der MapAlgebra erfolgt. Eine sinnvolle Verwendung der MapAlgebra ist per Definition nur für Rasterdaten vorbehalten, die kontinuierliche räumliche Phänomene repräsentieren. Durch geeignete Methoden können kontinuierlich auftretende Phänomene auch mit einem WMS abgebildet werden.

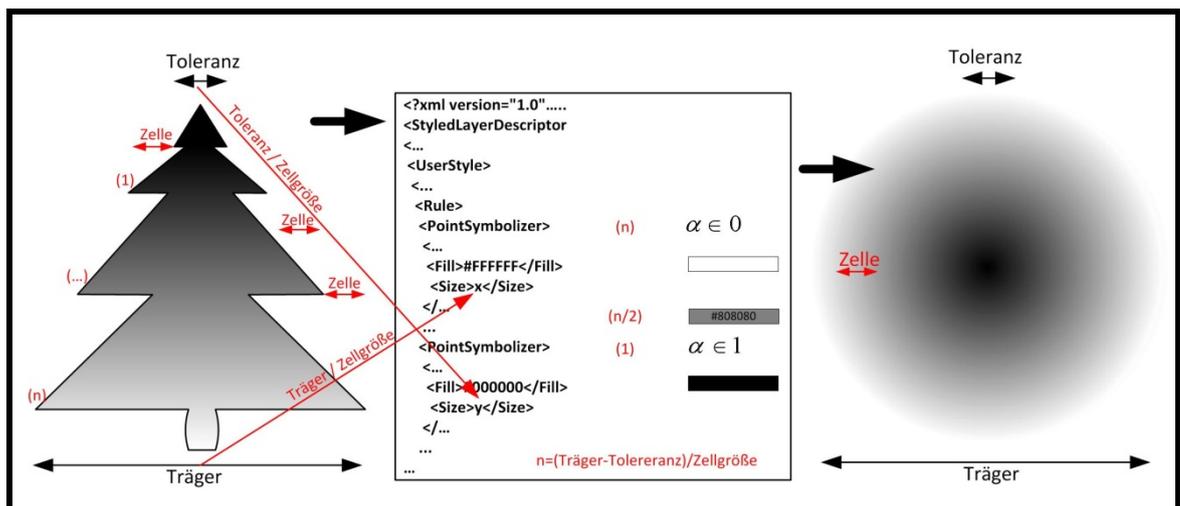


Abbildung 32: Darstellung der Modellierung der Unschärfe räumlicher Extension mit Hilfe des SLD-Profiles eines WMS.

Hierzu dienen die Eigenschaften des einzelnen Geobjektes. Durch die lagebeschreibenden Eigenschaften kann die Unschärfe räumliche Extension modelliert werden. Die Verwendung des WMS/SLD Profils kann Raumbezugseinheiten, je nach Entfernung zum Inneren (Kern) oder Rand einer Geometrie, einen bestimmten Grauwert zuweisen. Dieser Grauwert repräsentiert die Zugehörigkeit zur Geometrie, und kann wie in den Abschnitten 4.1.3-4.1.4 ermittelt werden. Je nach Geometrietyp existieren unterschiedliche *Symbolizer-Anweisungen* für das SLD-Dokument. Eine *Symbolizer-Anweisung* (XML-Element) entspricht einem bestimmten  $\alpha$ - Schnitt einer Fuzzy-Menge. Mit einer Vielzahl von *Symbolizer-Elementen* ist die Modellierung der Unschärfe räumlicher Extension möglich (vgl. Abbildung 32). Dies geschieht durch die Änderung der Größe bzw. Breite der *Symbolizer-Anweisungen* sowie einer graduellen Zunahme der Farbinformationen (Grauwerte). Da das SLD-Dokument von oben nach unten abgearbeitet wird, muss das Maximum der Unschärfe (Träger der Fuzzy-Menge) als erste *Renderanweisung*<sup>12</sup> im SLD-Dokument vorkommen. Mit einer Farbtiefe von 8 Bit

<sup>12</sup> Erzeugung einer Rastergrafik unter Berücksichtigung spezieller Parameter.

können 255 verschiedene Graustufen abgebildet werden. Unter der Berücksichtigung einer Auflösung eines WMS- Requests vom 0.25 [m] kann eine maximale räumliche Unschärfe von 63 [m] modelliert werden.

Dieser technische Trick ist notwendig, um die MapAlgebra in gewohnter Weise auch für Geodaten, die durch einen WMS visualisiert werden, anzuwenden. Durch die überlappende Anweisung von Symbolizer-Elementen im SLD-Dokument kann eine kontinuierliche Repräsentation der Unschärfe räumlichen Extension eines Geoobjektes erfolgen. Bei einer kontinuierlichen Überlappung von Symbolizer-Elementen entspricht das Resultat dem Ergebnis eines euklidischen Distanzlayer. Der notwendige Arbeitsfluss zur Modellierung der räumlichen Unschärfe mit dem WMS/SLD Profil ist nachfolgend aufgezeigt:

1. Mit dem WMS- Aufruf *DescribeLayer* wird die URL des WFS dem Client übermittelt.
2. Mit Hilfe des *FilterEncoding* (OGC 2005b) werden alle Geoobjekte in einer Region (Nachbarschaft eines Gewässersegments) abgefragt (räumliche Abfrage).
3. Aufgrund der Eigenschaften der zurückgelieferten Geoobjekte kann die Unschärfe räumliche Extension berechnet werden.
4. Es wird dynamisch ein SLD Dokument erstellt, welches die Unschärfe räumliche Extension in Form von überlappenden Symbolizer-Renderanweisungen modelliert.
5. Die WMS Antwort, auf Grundlage des dynamisch erstellten SLD Dokuments, enthält eine Rastergrafik. Diese Rastergrafik wird als Layer der Gewichtung für die Gesamtbewertung benutzt. Im Normalfall wurden die Renderanweisungen unter Verwendung der 8 Bit Grauwertskala erstellt. Das Gewicht ergab sich unmittelbar durch die Division der Zellwerte mit dem Wert 255.

Im Rahmen einer prototypischen Entwicklung wurde festgestellt, dass der WMS/SLD-Standard keine Möglichkeit bietet, Anti-Aliasing auf der Anwendungsseite zu steuern. Anti-Aliasing wirkt sich unmittelbar auf das Gesamtergebnis aus, da der Layer der Unschärfe räumlichen Extension die Gewichtungsinformationen beinhaltet. Die Rastergrafik wurde vor der Gesamtbewertung hinsichtlich nicht „angefragter“ Grauwertsausprägungen untersucht. Grauwertsausprägungen, welche nicht in dem SLD-Dokument vorkamen, wurden mit dem ähnlichsten benachbarten Zellwert ersetzt.

---

Ein weiteres Problem ergibt sich durch unterschiedliche Referenzsysteme in den Ausgangsdatensätzen. Das Kartografische Modell setzt ein einheitliches Koordinatenreferenzsystem für alle Layer voraus. Die für die prototypische Implementierung vorliegenden und genutzten heterogenen Geodatenressourcen (vgl. Abschnitt 3.5) unterstützen alle UTM-Koordinaten (ETRS 89) für räumliche Abfragen durch Geo-Web-Dienste (WMS/WFS). Nach der WFS-Spezifikation kann das interne Referenzsystem mit dem durch den Dienst angebotenen Standardreferenzsystem differieren. Eine Transformation „*on the fly*“ durch einen Geo-Web-Dienst kann zu unerwünschten Genauigkeitsverlusten führen. Aus geodätischer Sicht sollte das interne Referenzsystem mit dem Standardreferenzsystem (*DefaultSRS*) übereinstimmen.

“[...] The <DefaultSRS> shall not necessarily be the internal storage SRS used for the feature data [...] The effects of such a transformation must be considered when determining and declaring the guaranteed data accuracy[.]” (OGC, 2005)

5.2 Technische Umsetzung der Bewertungen

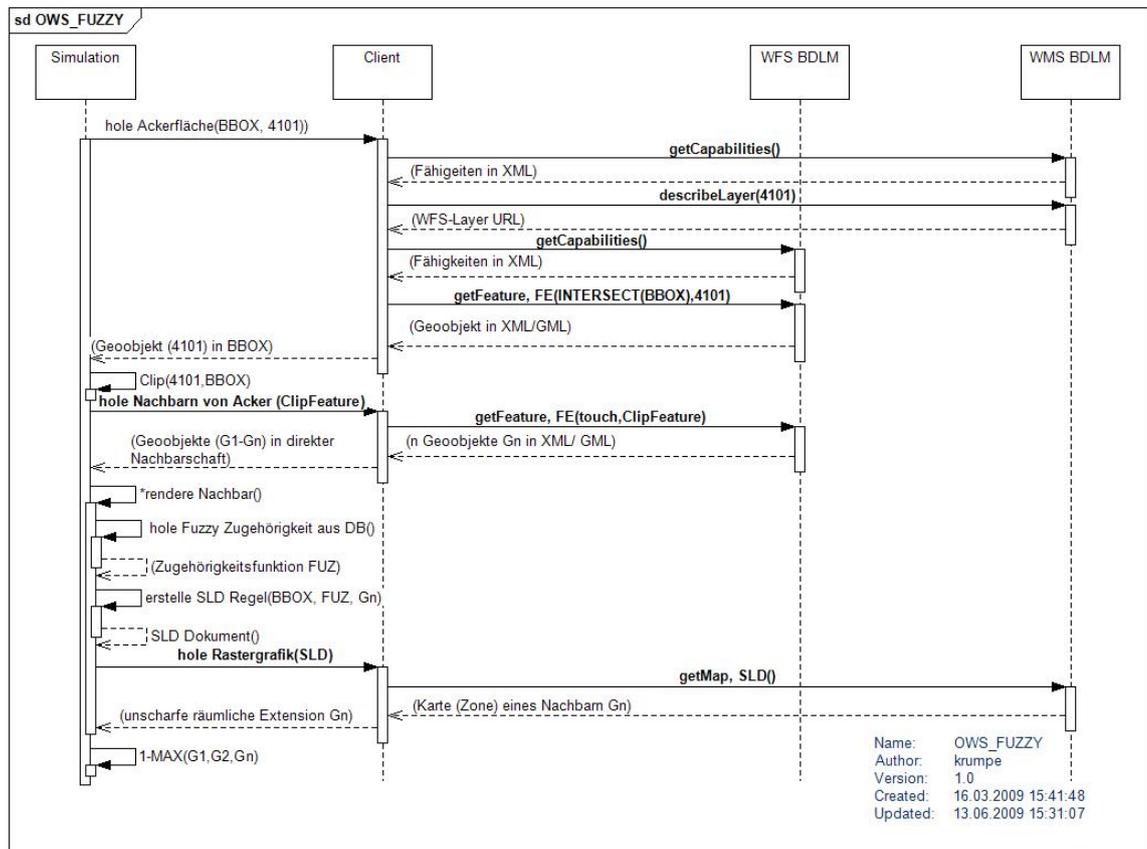


Abbildung 33: Darstellung eines Sequenzdiagramms zur Berücksichtigung der Unscharfen räumlichen Extension eines Geoobjektes mit der Objektart 4101 (BDLM) anhand seiner Nachbarn.

Die technische Umsetzung der Bewertung der Unscharfen räumliche Extension aufgrund benachbarter Geoobjekte, erfolgte durch die Aggregation von Geo-Web-Diensten. Dabei wurden Geo-Web-Dienste gezielt nacheinander aufgerufen. Parameter eines Geoobjektes, die durch den WFS zugänglich sind, können in einem anschließenden WMS/SLD Aufruf der gleichen Datenressource genutzt werden. Die Wertezuweisungen der Rasterzellen der WMS-Antwort stellen die Gewichtungsinformation für die Gesamtbewertung dar. Ein komplexeres Beispiel einer Service-Aggregation kann der Abbildung 33 entnommen werden. In einer prototypischen Implementierung wurde für die Konfiguration der Geo-Web-Dienste das *deegree*<sup>®</sup>-Framework (deegree, 2007), für die Service Aggregation die *GeoTools*<sup>®</sup> Java-Bibliotheken (GeoTools 2007) verwendet. Durch die Nutzung von SLD-Inline-Features können auch verbal beschriebene Landschaftselemente, beispielsweise „Galerie auf der linken Uferseite am Gewässerabschnitt X“ (LAWA 2000), unscharf modelliert werden. Die hierfür notwendige Referenzgeometrie kann durch einen WFS abgefragt und innerhalb der Bewertungskom-

ponente um einen bestimmten Vektor verschoben werden. Als Referenzgeometrie kommt in diesem Beispiel die Gewässerachse eines Objektes aus dem BDLM in Betracht.

Für die technische Umsetzung der Bewertung der unscharfen nicht lagebeschreibenden Eigenschaften wurden die Java-Bibliotheken des *jFuzzyLogic*<sup>®</sup> (jFuzzyLogic 2009) Projektes genutzt. Die Eingangsdaten entstammen den Objektdaten, welche durch einen WFS zugänglich sind. Für die technische Umsetzung der Gesamtbewertung wurde mit Hilfe der *Java Advanced Imaging*<sup>®</sup> (JAI 2006) eine konstante Rastergrafik mit dem Wert der Stellgröße erzeugt. Die Rastergrafik muss die gleiche Anzahl von Spalten und Zeilen besitzen, wie die der Bewertung der Unscharfen räumlichen Extension. Mit einer Auflösung von 0.25 [m] und einer maximalen betrachteten Differenz zum Gewässer von 150 [m], ergibt sich die Größe der Rastergrafik von 600 x 600 Zellen bzw. Raumbezugseinheiten.

### 5.3 Technische Umsetzung der Gesamtbewertung

Für die gewichtete Gesamtbewertung werden die Layer der aggregierten Bewertungen der lage- und nichtlagebeschreibenden Eigenschaften mit Hilfe „lokaler-Funktionen“ miteinander verrechnet (vgl. Formel 22). Die prototypische Implementierung verwendet hierfür die JAI-Bibliotheken. Für eine räumliche Aggregation stellt die JAI-Bibliothek keine Möglichkeiten zur Verfügung. Die räumliche Aggregation wurde durch einen externen Prozess, durch das GIS *GRASS*<sup>®</sup> realisiert. Die Schlüsselfunktion zur räumliche Aggregation bietet die Clump-Methode (Neteler & Mitasova 2004). Die Berechnung der Gesamtbewertung für 4 unterschiedliche Geodatenressourcen in einem Gebiet (150[m]x150[m]) dauerte im Schnitt 4 jedoch nicht länger als 7 Sekunden. Aufgrund dieser geringen Rechenzeiten ist die entwickelte Methode auch für Online-Bewertungen geeignet.

Das Systemverhalten einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten kann dem Anhang B entnommen werden. Die nachfolgenden Tabellen sind im Kontext zum Beispiel des Abschnitts 4.3 zu verstehen, und zeigen die technische Realisierung der einzelnen Bewertungen auf.

---

**Tabelle 24:** Beschreibung der technischen Realisierung zur Extraktion der Eigenschaften von verteilten Geoobjekten mit Geo-Web-Services.

Eigenschaften	Bemerkung	Technische Realisierung
1.1	Nicht lagebeschreibende Eigenschaften (Thematik)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. WMS/SLD-&gt;DescribeLayer</li> <li>2. WFS-&gt;GetFeature (BBOX=150[m]x150[m]) alternativ, wenn notwendig:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. CSW-&gt;DescribeRecords</li> <li>2. CSW-&gt;GetRecords</li> </ol> </li> </ol>
1.2	Nicht lagebeschreibende Eigenschaft (Zeit)	vgl. Eigenschaft 1.1
1.3	Lagebeschreibende Eigenschaft	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. WMS/SLD-&gt;DescribeLayer</li> <li>2. WFS-&gt;GetFeature (BBOX=150[m]x150[m])</li> </ol>

**Tabelle 25:** Beschreibung der technischen Realisierung der Bewertungen der lagebeschreibenden und nicht lagebeschreibenden Eigenschaften einschließlich der Gesamtbewertung.

Kriterien/Bewertungen	Technische Realisierung
$f_{1.1}/c_{1.1}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zuordnung eines Ähnlichkeitsmaßes aus der Datenbank je nach <i>FeaturesTyp</i></li> <li>2. Erstellung eines Layer (BBOX=150[m]x150[m]) mit dem konstanten Wert des Bewertungsergebnisses der Ähnlichkeit: Hilfsmittel JAI®</li> </ol>
$f_{1.2}/c_{1.2}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lineare Interpolation des Zeitmerkmals des <i>Feature</i> bzw. der Informationen aus den Metadaten</li> <li>2. Erstellung eines Layer (BBOX=150[m]x150[m]) mit dem konstanten Wert der Bewertung der Aktualität: Hilfsmittel JAI®</li> </ol>
$f_{1.3.1}/c_{1.3.1}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erstellung einer SLD-Anweisung, aufeinanderfolgende <i>Symbolizer-Elemente</i> eines Features definieren den Zugehörigkeitsgrad zur Unschärfe Extension eines Features (Berechnung vgl. Abschnitt 4.1.3)</li> <li>2. Erstellung eines Unschärfe-Layer durch WMS-&gt;GetMap-Aufruf +SLD-Dokument (BBOX=150[m]x150[m])</li> </ol>
$f_{1.3.2}/c_{1.3.2}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erstellung einer SLD-Anweisung, aufeinanderfolgende <i>Symbolizer-Elemente</i> eines Features definieren den Zugehörigkeitsgrad zur Unschärfe Extension eines Features (Berechnung vgl. Abschnitt 4.1.4)</li> <li>2. Erstellung eines Unschärfe-Layer durch WMS-&gt;GetMap-Aufruf +SLD-Dokument (BBOX=150[m]x150[m])</li> </ol>
$f_{1A}/c_{1A}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aggregierende Teilbewertung von <math>c_{1.3.1}</math> und <math>c_{1.3.2}</math>: Hilfsmittel JAI®</li> </ol>
$f_{1B}/c_{1B}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aggregierende Teilbewertung von <math>c_{1.1}</math> und <math>c_{1.2}</math>: Hilfsmittel jFuzzyLogic®</li> <li>2. Erstellung eines Layer (BBOX=150[m]x150[m]) mit dem konstanten Wert der aggregierende Bewertung: Hilfsmittel JAI®</li> </ol>
$f_{Agg}/c_{Agg}$	Gewichtete Gesamtbewertung pro Raumbezugsinheit: Hilfsmittel JAI®

Kriterien/Bewertungen	Technische Realisierung
$f_{ges.}/C_{ges}$	Erstellung der harmonisierten Datengrundlage durch Clusteranalysen: Hilfsmittel GRASS®  Optional: Bereitstellung des Ergebnisses mit einem WMS, WCS bzw. nach Vektorisierung durch ein WFS.

## 6 Ergebnisse

Das Ergebnis einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten ist, wie in der Zieldefinition beschrieben, eine harmonisierte Datengrundlage. Aufgrund dieser harmonisierten Datengrundlagen wird eine erneute Expositionsabschätzung durchgeführt. Aus den Abbildungen 34-36 ist der Unterschied, insbesondere bei der Berechnung des Abstandes einer Applikationsfläche zu einem benachbarten Gewässersegment deutlich zu erkennen. Der Zusammenhang zwischen der Existenz einer Applikationsfläche bzw. deren Distanz zu einem oberflächennahen Gewässer, ist aus dem Abschnitt 1.2 zu entnehmen.

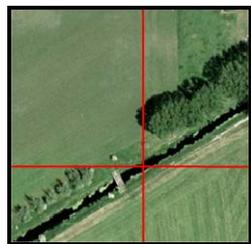


Abbildung 34: Darstellung eines Gewässersegments

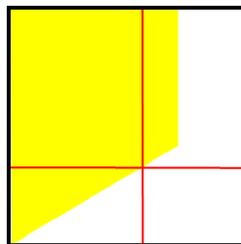


Abbildung 35: Darstellung eines Gewässersegments mit einer minimalen Distanz vom 3m zur Applikationsfläche (BDLM).

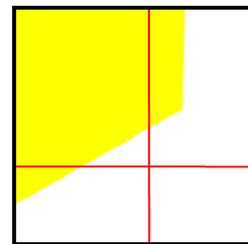


Abbildung 36: Darstellung eines Gewässersegments mit einer minimalen Distanz von 11m zur Applikationsfläche (Harmonisierte Datengrundlage).

Die berechneten Konzentrationen [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ] einer Expositionsabschätzung unter der alleinigen Verwendung des BDLM und des Ergebnisses einer Multiattributiven Raumbewertung (BDLM, ALK, FB, DL) wurden vergleichend in der Tabelle 26 gegenübergestellt.

Tabelle 26: Gegenüberstellung der Konzentrationen zwischen einer probabilistischen Expositionsabschätzung auf Basis des BDLM und einer harmonisierten Datengrundlage als Ergebnis einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten (BDLM, ALK, FE, LE).

ID	BDLM $\mu\text{g}/\text{l}$	Harmonisierte Datengrundlage $\mu\text{g}/\text{l}$	Diff.	ID	BDLM $\mu\text{g}/\text{l}$	Harmonisierte Datengrundlage $\mu\text{g}/\text{l}$	Diff.
1	91.71	64.92	26.79	16	26.57	00.81	25.76
2	74.59	20.59	54.00	17	73.20	06.37	66.83
3	73.47	51.86	21.61	18	75.09	20.89	54.20
4	74.48	73.46	01.02	19	73.08	17.82	55.26

ID	BDLM $\mu\text{g} / \text{l}$	Harmonisierte Datengrundlage $\mu\text{g} / \text{l}$	Diff.	ID	BDLM $\mu\text{g} / \text{l}$	Harmonisierte Datengrundlage $\mu\text{g} / \text{l}$	Diff.
5	04.25	01.20	03.05	20	75.10	29.78	45.32
6	73.45	02.79	70.66	21	73.97	76.21	-02.24
7	75.80	74.22	01.58	22	09.94	01.80	08.14
8	37.03	01.14	35.89	23	74.69	30.16	44.53
9	73.95	36.99	36.96	24	21.81	07.67	14.14
10	73.13	36.97	46.16	25	17.33	00.47	16.86
11	00.00	02.34	-02.34	26	91.75	57.82	33.93
12	00.00	18.35	-18.35	27	95.15	95.00	00.15
13	73.56	22.43	51.13	28	74.18	11.45	62.73
14	26.57	00.81	25.76	29	74.24	50.02	24.22
15	73.20	06.37	66.83	30	00.00	74.23	-74.23

Die Testgebiete ( $n = 30$ ) wurden zufällig in den Obstanbauregionen des Bundeslands Brandenburg gewählt. Dabei wurde algorithmisch sichergestellt, dass alle Testgebiete eine Mindestdistanz vom 500 [m] zueinander haben. Diese Bedingung ist notwendig, da benachbarte Testgebiete (25 [m]-Abschnitte) oft identische Merkmale aufweisen.

Tabelle 27: Statistische Kennwerte

Kennwert	BDLM $\mu\text{g} / \text{l}$	Harmonisierte Datengrundlage $\mu\text{g} / \text{l}$
Max	95.15	95.00
Median	73.46	20.74
Mittelwert	56.04	29.83
Klasse $\mu\text{g} / \text{l}$	BDLM $i$	Harmonisierte Datengrundlage $i$
0-20	8	14
20-40	3	7
40-60	0	3
60-80	17	6
80-100	3	1

Trotz dass die Maximalkonzentration beider Berechnungen annähernd gleich ist, kann festgestellt werden, dass die Expositionsrechnung auf Basis der Harmonisierten Datengrundlage im Mittel weniger Risiko für Aquatische Organismen bedeutet. In einem Fall (ID=6) wurde die Konzentration mit dem Faktor 35 gegenüber der harmonisierten Datengrundlage überschätzt. In 10% der Stichproben

wurde, gegenüber dem BDLM, eine Konzentrationszunahme festgestellt. Diese Tatsache lässt sich einerseits durch fehlerhafte Klassifikation der Landnutzungen im BDLM und andererseits durch nicht aktuelle Datengrundlagen erklären, welche zur Erstellung des BDLM genutzt werden. In zwei von 30 Stichproben wurden, im Gegensatz zum Feldblockkataster und zur Realität, nach dem BDLM keine Obstbauflächen nachgewiesen.

---

## 7 Zusammenfassung

### 7.1 Überprüfung der Zielstellung und Schlussfolgerung

Die Zielstellung dieser Arbeit war die Erstellung einer harmonisierten Datengrundlage durch eine Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geodaten zur erneuten Expositionsabschätzung von Pflanzenschutzmitteln. Diese harmonisierte Datengrundlage sollte die folgenden Kriterien erfüllen:

- Die Datengrundlage gibt Auskunft über die geografische Lage und Ausdehnung (Extension) einer bestimmten Landnutzung
- Die Datengrundlage muss eine bestimmte, thematisch festzulegende, Landnutzung widerspiegeln (Applikationsfläche)
- Die Aktualität der Datengrundlage muss dem Zeitpunkt der Simulation (Expositionsabschätzung) entsprechen

Das Ziel wurde in dem vorgestellten Ansatz erreicht.

Die harmonisierte Datengrundlage wird durch ein Layer in einem Kartografischen Modell repräsentiert und bezieht verteilte Geodatenressourcen mit ein. Die Thematik der harmonisierten Datengrundlage ist frei wählbar. Die Bewertung der lagebeschreibenden Eigenschaften erfolgte einerseits durch die Berücksichtigung der Unscharfen räumlichen Extension bezüglich des Maßstabsbereichs und andererseits durch die Berücksichtigung des Abstraktionsgrads der Geobjekte von den verteilten Datenressourcen. Dies setzt aber voraus, dass datenbezogene Anforderungen hinsichtlich geltender Standards, wie ISO<sup>®</sup>, OGC<sup>®</sup> oder W3C<sup>®</sup>, entsprechend definiert und angewendet werden.

Im Kontext dieser Arbeit wurde die Ziel-Landnutzung durch den Fachterminus „Applikationsfläche“ beschrieben. Die semantische Übereinstimmung zwischen der Ziel-Landnutzung und den Geobjekten der verteilte Geodatenressourcen, wurden durch Ähnlichkeitsmaße festgelegt. Ein Fuzzy-Regel-System nach Sugeno/Takagi führte die Bewertungsaggregation der Kriterien „Ähnlichkeit“ und „Aktualität“ durch. Dieser Schritt ist notwendig, damit die Datengrundlage dem Zeitpunkt der Simulation entspricht. Das Fuzzy-Regel-System wurde durch Verwendung eines Neuro-Fuzzy-Systems hinsichtlich von „Solldaten“ trainiert. Das entworfene Fuzzy-Regel-System ist universell

---

und kann für alle Daten mit Raumbezug genutzt werden. Eine gewichtete Gesamtbewertung bezieht die Unscharfe räumlichen Extension als Gewicht, die Stellgröße aus dem Fuzzy-Regel-System als Wert mit ein. Eine anschließende räumliche Aggregation der bei der Gesamtbewertung entstandenen Cluster, repräsentiert dann die harmonisierte Datengrundlage einer thematisch festgelegten Ziel-Landnutzung („Applikationsfläche“).

In 90% der Analysegebiete (n=30) führte dieser Ansatz zu einer Minimierung der Expositionsabschätzung im theoretischen Driftbereich von 150[m] gegenüber dem herkömmlichen Ansatz mit nur einer Datenressource (BDLM). In 10% der Stichproben kam es zum Anstieg der Konzentrationen. Das ist darauf zurückzuführen, dass ein Mangel hinsichtlich Vollständigkeit und Aktualität im BDLM vorliegt. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl aus der Sicht der Wirtschaft als auch aus der des Umweltschutzes, eine Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geodaten von Vorteil ist. Aufgrund der überwiegend geringeren Konzentrationen nach einer erneuten Expositionsabschätzung auf Basis der harmonisierten Datengrundlage können Pflanzenschutzmittel verkauft und zugelassen werden, welche aufgrund des bisherigen Ansatzes als zu toxisch eingestuft wurden. Die Ergebnisse wurden anhand von Luftbildkontrollen und Ortsbegehungen validiert. Eine realistischere Aussage, über die momentane Landnutzung durch eine kombinierte Bewertung verteilter Geodaten konnte nachgewiesen werden.

Durch die kleinräumige Analyse von 150 [m<sup>2</sup>] (600x600 Pixel mit 0.25 [m] Rasterweite) und der Nutzung eines rasterbasierten Ansatzes, sind die Rechenzeiten für eine Online-Auswertung akzeptabel. Erste Testrechnungen belegen, dass im Schnitt eine Multiattributive Raumbewertung mit verteilten Geodaten nicht länger als 4 [sec] dauert. Da zukünftig Geodaten über Geo-Web-Dienste bereitgestellt werden, wurde die Multiattributive Raumbewertung konsequent durch die Nutzung von OGC konformen Geo-Web-Diensten (OWS) realisiert. Neben den bekannten Geo-Web-Diensten, wie WMS und WFS, kam das WMS/SLD Profil als Schlüsseltechnologie zum Einsatz. Erstmals wurde versucht, die SLD Spezifikation zur kartografischen Modellbildung erfolgreich einzusetzen. Auch verbale Lagebeschreibungen von Landschaftselementen, wie beispielsweise „Galerie auf der linken Uferseite am Gewässerabschnitt X“, können durch eine gezielte Kombination von Gazetteer-, Objekt- und Kartendiensten mit Hilfe von SLD-Inline-Features berücksichtigt werden.

---

---

Eine ad hoc Landnutzungsanalyse mit unbekanntem Geodaten und deren zugrundeliegenden Datenmodellen, ist momentan noch nicht möglich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die semantische Interoperabilität zwischen den Geodaten bisher nur mit sehr großem Aufwand funktioniert. Die INSPIRE-Drafting Teams arbeiten an einheitlichen europäischen Datenmodellen, die zukünftig die semantische Interoperabilität unterstützen wird. Der vorgestellte pragmatische Ansatz zur Festlegung von Ähnlichkeitsmaßen zwischen Geodaten, kann jederzeit durch eine automatisierte Ähnlichkeitsmaßberechnung ersetzt werden. Der vorgestellte Berechnungsgraph einer Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten ändert sich dadurch nicht. Bei der technischen Realisierung bestand das Problem, dass der WMS Standard bisher keine Möglichkeit vorsieht, Antialiasing clientseitig zu steuern. Das betrifft die Gewichtsmatrix und beeinflusst somit die Landnutzungsanalyse. Verschiedene Versionen sowie syntaktische Fehler bei der Implementierung von OGC-Spezifikationen hemmen momentan eine reibungslose Service-Aggregation. Da die OGC-OWS Spezifikationen zukünftig auch den W3C Protokollstandard SOAP unterstützen, kann künftig die Aggregation von Web-Services standardisiert mit der *Business Process Execution Language (BPEL)* erfolgen.

Diese Arbeit stellt zusammenfassend einen innovativen Ansatz zur Harmonisierung heterogener Geodaten basierend auf GDI-DE Initiativen dar.

---

---

## 7.2 Ausblick

Die Zusammenführung unterschiedlichster raumbezogener Fachdaten sind für viele Aufgabenbereiche notwendig. Demgegenüber steht die Problematik, wie heterogene Daten hinsichtlich der Thematik, der Aktualität und der geometrischer Auflösung mit einander kombiniert werden können. Die vorgestellte Arbeit zeigt einen allgemeingültigen Ansatz, um den o.g. Problemen entgegenzutreten. Es ist somit möglich, unterschiedliche Arten von Geodaten im Kontext variierender Fachanwendungen in einer Vielzahl von Szenarien und Bewertungen anzuwenden. Aufgrund der konsequenten Verwendung von IT- Standards sowie der Skalierbarkeit hinsichtlich des Datenvolumens, ist die Nachnutzung dieser Methode auch für andere Fachbereiche mit Geobezug denkbar. Diese Methode lässt eine automatisierte Gesamtbewertung verteilter Geodaten zu und lässt sich somit in elektronische Prozessketten von Verwaltung und Industrie einbinden. Eine Nachnutzung kann in allen Planungs- und Entscheidungsprozessen erfolgen. Der hier vorgestellte pragmatische Ansatz, Ähnlichkeitsmaße generisch festzulegen, wird zukünftig durch eine automatische Zuordnung auf Grundlage des Semantic-Webs abgelöst werden. Eine Multiattributiven Raumbewertung mit verteilten Geodaten kann von der Exploration von bis zur Gesamtbewertung von Geodaten geschlossen, in einem Workflow möglich sein.

---

---

**Literaturverzeichnis**

- Agarwal, P. 2005, "Ontological considerations in GIScience", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, no. 5, pp. 501-536.
- Ahlqvist, O. 2005, "Using Semantic Similarity Metrics to Uncover Category and Land Cover Change," in *First International Conference, GeoS 2005*, M. A. Rodriguez et al., eds., Springer, pp. 107-119.
- Baltensweiler, A. & Brändli, M. 2004, "Web-based Exploration of Environmental Data and Corresponding Metadata, in Particular Lineage Information," in *Environmental Online Communication*, A. Scharl, ed., Springer, pp. 127-132.
- Bauer-Messmer, B. & Grüttner, R. 2007, "Designing a Bilingual Eco-Ontology for Open and Intuitive Search," in *Information Technologies in Environmental Engineering*, J. M. Gomez et al., eds., Springer, pp. 143-152.
- Bernard, L., Einspanier, U., Haubrock, S., Hübner, S., Kuhn, W., Lessing, R., Lutz, M., & Visser, U. 2003, "Ontologies for Intelligent Search and Semantic Translation in Spatial Data Infrastructures", *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, vol. 6, pp. 451-462.
- BRB 2004, Richtlinien für die Einrichtung der Automatisierten Liegenschaftskarte in Brandenburg, <http://brandenburg.de/sixcms/media.php/1071/73000501.pdf>, 24/01/2009.
- Butenuth, M., Goesseln, G. V., Tiedge, M., Heipke, C., Lipeck, U., & Sester, M. 2007, "Integration of heterogeneous geospatial data in a federated database", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 62, no. 5, pp. 328-346.
- Chen, N., Gong, J., & Chen, Z. 2007, "A High Precision OGC Web Map Service Retrieval Based on Capability Aware Spatial Search Engine," in *Advances in Computation and Intelligence, Second International Symposium*, vol. 4683 L. Kang, Y. Liu, & S. Y. Zeng, eds., Springer, Wuhan, China, pp. 558-567.
- Cobb, M. A., Chung, M. J., Foley III, H., Petry, F. E., & Shaw, K. B. 1998, "A Rule-based Approach for the Conflation of Attributed Vector Data", *Geoinformatica*, vol. 2, no. 1, pp. 7-35.
- COM, 2004, "Global Monitoring for Environment and Security (GMES): Establishing a GMES capacity by 2008 - (Action Plan (2004-2008))" *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, COM (2004) 65 final*, 03.02.20074.
- David, B., Herrewegen, M. V. D., & Salge, F. 1996, "Conceptual models for geometry and quality of geographic information", *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries* pp. 193-206.
- DE, 2007a, Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen, <http://kbst.bund.de/saga>, 24/01/2009.
-

- 
- DE, 2007b, Umsetzungsplan 2007-E-Government 2.0, <http://egov2.de>, 24/02/2009.
- DE, 2007c, Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland- Konzept zur fach- und ebenenübergreifenden Bereitstellung von Geodaten im Rahmen des E-Government in Deutschland, <http://gdi-de.de>, 24/02/2009.
- DE, 2009, „Bundesgesetz vom 10. Februar 2009 über den Zugang zu digitalen Geodaten (Geodatenzugangsgesetz – GeoZG)“ *Bundestag*, BGBl. I No. 8 pp. 278, 13/02/2009
- deegree, 2007: <http://deegree.org>, 24/02/2009.
- DeCOVER, 2006, *DeCOVER*, <http://decover.info/>, 19/10/2008.
- Donaubauer, A., Staub, P., Straub, F., & Fichtinger, A. 2008, "Web-basierte Modelltransformation - eine Lösung für INSPIRE?", *GIS-Zeitschrift für Geoinformatik*, vol. 2, pp. 26-33.
- Donaubauer, A., Straub, F., & Schilcher, M. 2007, "mdWFS: A Concept of Web-enabling Semantic Transformation", *10th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2007*, pp. 1-6.
- EEA, Eionet GEMET Thesaurus. 2009, <http://eionet.europa.eu/gemet>, 10/10/2008.
- Egenhofer, M. J. & Franzosa, R. D. 1991, "Point-Set Topological Spatial Relations", *International Journal for Geographical Information Systems*, vol. 5 (2), pp. 161-174.
- Erwig, M. & Schneider, M. 1997, "Vague Regions," in *Advances in Spatial Databases: 5th International Symposium, SSD'97. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1262 M. Scholl & A. Voisard, eds., Springer, Berlin, pp. 298-320.
- EU, 2006, "i2010 eGovernment Action Plan - Accelerating eGovernment in Europe for the Benefit of All" *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social committee and the Committee of the Regions -*, SEC(2006)511.
- EU, 2007, "Directive 2007/2/EC Of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)" *Official Journal of the European Union*, L108/1, 25.4.2007.
- Fonseca, F., Martin, J., & Rodriguez, M. A. 2002, "From Geo- to Eco-Ontologies," in *Proceedings of the Second International Conference on Geographic Information Science*, vol. 2478 Springer, pp. 93-107.
- Fonseca, F., Rodriguez, M. A., & Levashkin, S. E. 2007, *GeoSpatial Semantics, Second International Conference, GeoS 2007* Springer, Mexico City.
- Forman, R. T. T. & Godron, M. 1986, *Landscape Ecology* John Wiley, New York.
- Frehner, M. & Brandli, M. 2006, "Virtual database: Spatial analysis in a Web-based data management system for distributed ecological data", *Environmental Modelling & Software*, vol. 21, no. 11, pp. 1544-1554.
-

- Friis-Christensen, A., Cao, H., & Quaglia, A. 2007, *Implementation Specification of the Schema Mapping Service*, ORCHESTRA Consortium, ORCHESTRA Project Document FP6-511678.
- Fritsch, D., Glemser, M., Klein, U., Sester, M., & Strunz, G. 1998, "Zur Integration von Unsicherheit bei Vektor- und Rasterdaten", *GIS*, vol. 4, no. 11, pp. 26-35.
- GeoTools, 2007: [geotools.codehaus.org](http://geotools.codehaus.org) 24/02/2009.
- Glemser, M. 2001, *Zur Berücksichtigung der geometrischen Objektunsicherheit in der Geoinformatik*, Dissertation, University of Stuttgart, Institute for Photogrammetry.
- Goesseln, G. v. & Sester, M. 2003, "Semantic and Geometric Integration of Geoscientific data sets with ATKIS - applied to Geo-Objects from Geology and Soil Science", *ISPRS Commission IV Joint Workshop Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II*, pp. 111-116.
- Golla, B., Enzian, S., & Gutsche, V. 2003, "GIS-aided approaches in considering local and regional landscape conditions in the pesticide use regulation process. In: Landscape Management for Functional Biodiversity", *EPPO/OEPP Bulletin*, vol. 26, no. 4.
- Goodwin, J. "Experiences of using OWL at the Ordnance Survey", in *Proceedings of the OWLED\*05 Workshop on OWL: Experiences and Directions*, B. C. Grau et al., eds., Galway, Ireland November 11-12, 2005.
- Gruber, T. 2009, "Ontology," in *Encyclopedia of Database Systems*, L. Liu & M. T. Özsu, eds., Springer.
- Grüttner, R. & Bauer-Messmer, B. 2007, "Towards Spatial Reasoning in the Semantic Web: A Hybrid Knowledge Representation System Architecture," in *The European Information Society: Leading the Way with Geo-information*, S. I. Fabrikant & M. Wachowicz, eds., Springer, Berlin, pp. 349-364.
- Grüttner, R., Bauer-Messmer, B., & Frehner, M. "First Experiences with an Ontology-Based Search for Environmental Data", in *Taking Geoinformation Science One Step Further*, pp. 1-9.
- Grüttner, R., Bauer-Messmer, B., & Hägeli, M. "Extending an Ontology-based Search with a Formalism for Spatial Reasoning", in *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*, ACM, New York, pp. 2266-2270.
- Hase, E. 1996, "Grundlagen, Problemfelder und Konsequenzen von Landschaftsbewertungsverfahren," in *Landschaftsökologische Raumbewertung - Konzeptionen - Methoden - Anwendungen*, 16 edn, C. Preu & P. Leinweber, eds., Vechtaer Druckerei und Verlag, Vechta, pp. 23-32.
- HUMBOLDT, 2007, *HUMBOLDT Annual Report 2007* HUMBOLDT Project Office, pp. 8-13.
- Ingwersen, M. 2003, "Zur Realisierung des Projekts FALKE in der Landeshauptstadt Potsdam", *Vermessung Brandenburg*, vol. 2, pp. 33-43.
-

- 
- INSPIRE Drafting Team Metadata and European Commission Joint Research 2007, *INSPIRE Metadata Implementing Rules: Technical Guidelines based on EN ISO 19115 and EN ISO 19119*, Version 1.1.0, Identifier MD\_IR\_and\_ISO\_20090218.
- INSPIRE Consolidation Team 2009, INSPIRE Work Programme Transposition Phase 2007-2009, <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/-workprogrammeDocs.cfm>, 24/01/2009.
- International Organisation for Standardisation (ISO), 2003, *International Standard ISO 19107:2003-Geographic Information-Spatial Schema*.
- JAI 2006: <http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jai>, 24/02/2009.
- Jacobs, E. 2006, *Modellierungsmuster für GIS und Unschärfe- Fuzzy-Methoden zur multiattributiven Raumbewertung*, Dissertation, Humboldt-Universität Berlin.
- jFuzzyLogic 2009: <http://jfuzzylogic.sourceforge.net>, 24/02/2009.
- Joos, G. 2001, "Modellierung von Unschärfe in GIS," in *First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS*, IGP, pp. 133-137.
- Kahlert, J. 1995, *Fuzzy Control für Ingenieure* Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden.
- Kampshoff, S. 2005, *Integration heterogener raumbezogener Objekte aus fragmentierten Geodatenbeständen*, Dissertation, RWTH, Geodetic Institute.
- Keller, S. F. & Gnägi, H. R. 2001, "Modeling Fuzzy Geospatial Phenomena Using Application Patterns and Standards," in *First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS*, IGP, pp. 151-158.
- Klien, E., Einspanier, U., Lutz, M., & Hübner, S. 2004, "An Architecture for Ontology-Based Discovery and Retrieval of Geographic Information," in *Ontology-based Discovery and Composition of Geographic Information Services*, P. Dadam & M. Reichert, eds., pp. 179-188.
- Kosko, B. 1990, "Fuzziness Vs Probability", *International Journal of General Systems*, vol. 17, no. 2-3, pp. 211-240.
- LAWA 2000, *Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland*, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft, eds., vol. 1.
- Lutz, M. 2005, *Ontology-based Discovery and Composition of Geographic Information Services*, Dissertation, University Münster.
- Lutz, M., Sprado, J., Klien, E., Schubert, C., & Christ, I. 2008, "Overcoming semantic heterogeneity in spatial data infrastructures", *Computers & Geosciences*.
- Mamdani, E. H. 1974, "Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant", *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers-London*, vol. 121, no. 12, pp. 1585-1588.
-

- Mandl, P. 2006, "HarmoniSA - ein Geoinformationssystem zum Studium grenzüberschreitender Landnutzung.," in *Angewandte Geoinformatik 2006 - Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg*, J. Strobl, T. Blaschke, & G. Giesebnner, eds., H. Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 397-406.
- Mark, D. M. & Csillag, F. 1989, "The Nature of Boundaries on 'Area-Class' Maps", *Cartographica*, vol. 26, pp. 65-79.
- Meinel, G., Knop, M., & Hecht, R. "Geobasisdaten in Deutschland - Verfügbarkeit und Qualitätsaspekte des ATKIS® Basis-DLM und der DTK25(-V)", Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation edn, M. SCHRENK et al., eds., E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 29-40.
- Metternicht, G. 1999, "Change detection assessment using fuzzy sets and remotely sensed data: an application of topographic map revision", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, no. 4, pp. 221-233.
- Mustière, S. 2006, "Results of experiments on automated matching of networks at different scales," in *ISPRS WG II Workshop, Hannover*, H. Hampe, M. Sester, & L. Harrie, eds., Hannover, pp. 92-100.
- Nauck, D., Borgelt, C., Klawonn, F., & Kruse, R. 2003, *Neuro-Fuzzy-Systeme - Von den Grundlagen künstlicher Neuroner Netze zur Kopplung mit Fuzzy-Systemen* Friedrich Vieweg & Teubner in GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Neteler, M. & Mitasova, H. 2004, *Open Source GIS- A Grass GIS Approach*, 2 edn, Kluwer, Boston.
- Open Geospatial Consortium Inc. (OGC), 2002, *Web Map Service Implementation Specification*, Version 1.1.1, Open-GIS Project Document 01-068r3.
- Open Geospatial Consortium Inc. (OGC), 2005a, *Web Feature Service Implementation*, Version 1.1.0, Open-GIS Project Document 04-094.
- Open Geospatial Consortium Inc. (OGC), 2005b, *Filter Encoding Implementation Specification*, Version 1.1.0, Open-GIS Project Document 04-095.
- Open Geospatial Consortium Inc. (OGC), 2007a, *Catalog Services Specification*, Version 2.0.2, Open-GIS Project Document 07-006r1.
- Open Geospatial Consortium Inc. (OGC), 2007b, *Styled Layer Descriptor Implementation Specification*, Version 1.1.0, Open-GIS Project Document 05-078r4.
- Open Architecture and Spatial Data Infrastructure for Risk Management (ORCHESTRA), 2008, *an open service architecture for risk management* ORCHESTRA Consortium.
- Rodriguez, M. A., Cruz, I. F., Egenhofer, M. J., & Levashkin, S. "GeoSpatial Semantics: First International Conference, Geos 2005", Springer, Mexico City.
-

- Schneider, M. 1996, "Model Spatial Objects with Undetermined Boundaries Using the Realm/ROSE Approach," in *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, vol. 3 P. A. Burrough & A. U. Frank, eds., Taylor & Francis, London, pp. 141-152.
- Schneider, M. 2001, "Fuzzy Topological Predicates, their Properties, and their Integration into Query Languages," in *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, ACM, Atlanta, pp. 9-14.
- Schulz, R., Stehle, S., Elsaesser, D., Matezki, S., Müller, A., Neumann, M., Ohliger R., Wogram, J., & Zenkert, K. 2009, "Geodata-Based Probabilistic Risk Assessment and Management of Pesticides in Germany: A Conceptual Framework", *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 5, no. 1, pp. 69-79.
- Sester, M., Kieler, B., & Gösseln von, G. 2007, "Semantische und Geometrische Integration von Geodaten," in *Kartographie als Baustein moderner Kommunikation, Symposium 2007 in Königsutter am Elm*, Kartographische Schriften edn, Kirschbaum Verlag, Bonn, pp. 53-58.
- Shyllon, E. A. 2001, "Techniques for Modelling Uncertainties Inherent in Geomatics Data," in *First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS*, A. Carosio & H. Kutterer, eds., IPG, Zurich, pp. 139-143.
- Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N. 2007, *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB* Springer, Berlin.
- Staub, P. 2009, *Über das Potenzial und die Grenzen der semantischen Interoperabilität von Geodaten - Ein operationelles Verfahren zur Nutzung verteilter Systeme in Geodaten-Infrastrukturen*, ETH Zurich.
- Sugeno, M. & Takagi, T. 1985, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control", *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics*, vol. 15, no. 1, pp. 116-132.
- Tang, X. 2004, *Spatial object model[ing] in fuzzy topological spaces : with applications to land cover change*, University of Twente.
- Tomlin, D. 1990, *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling* Prentice Hall College Div, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Usländer, T. 2007, *Reference Model for the ORCHESTRA Architecture (RM-OA) V2 (Rev 2.1)*, Open Geospatial Consortium Inc., OGC 07-097.
- Veregin, H. & Hargitai, P. 1995, "An evaluation matrix for geographical data quality," in *Elements of spatial data quality*, S. C. Guptill & J. L. Morrison, eds., Elsevier, Oxford, pp. 167-188.
- von Altrock, C. 1993, *Fuzzy Logic* R. Oldenbourg, München.
- W3C 2007, <http://w3.org/TR/soap12-part1>, 02/03/2009
-

---

Wang, F. & Hall, G. B. 1996, "Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 10, no. 5, pp. 573-590.

Zadeh, L. A. 1965, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353.

Zadeh, L. A. 1975, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", *Information Science*, vol. 8, no. 3, pp. 199-249.

Zadeh, L. A. 1995, "Probability theory and fuzzy logic are complementary rather than competitive", *Technometrics*, vol. 37, no. 2, pp. 271-276.

Zhang, J. & Goodchild, M. F. 2002, *Uncertainty in Geographical Information* Taylor & Francis, New York.

Zimmermann, H. J. 2001, *Fuzzy Set Theory and its Applications* Kluwer.

---

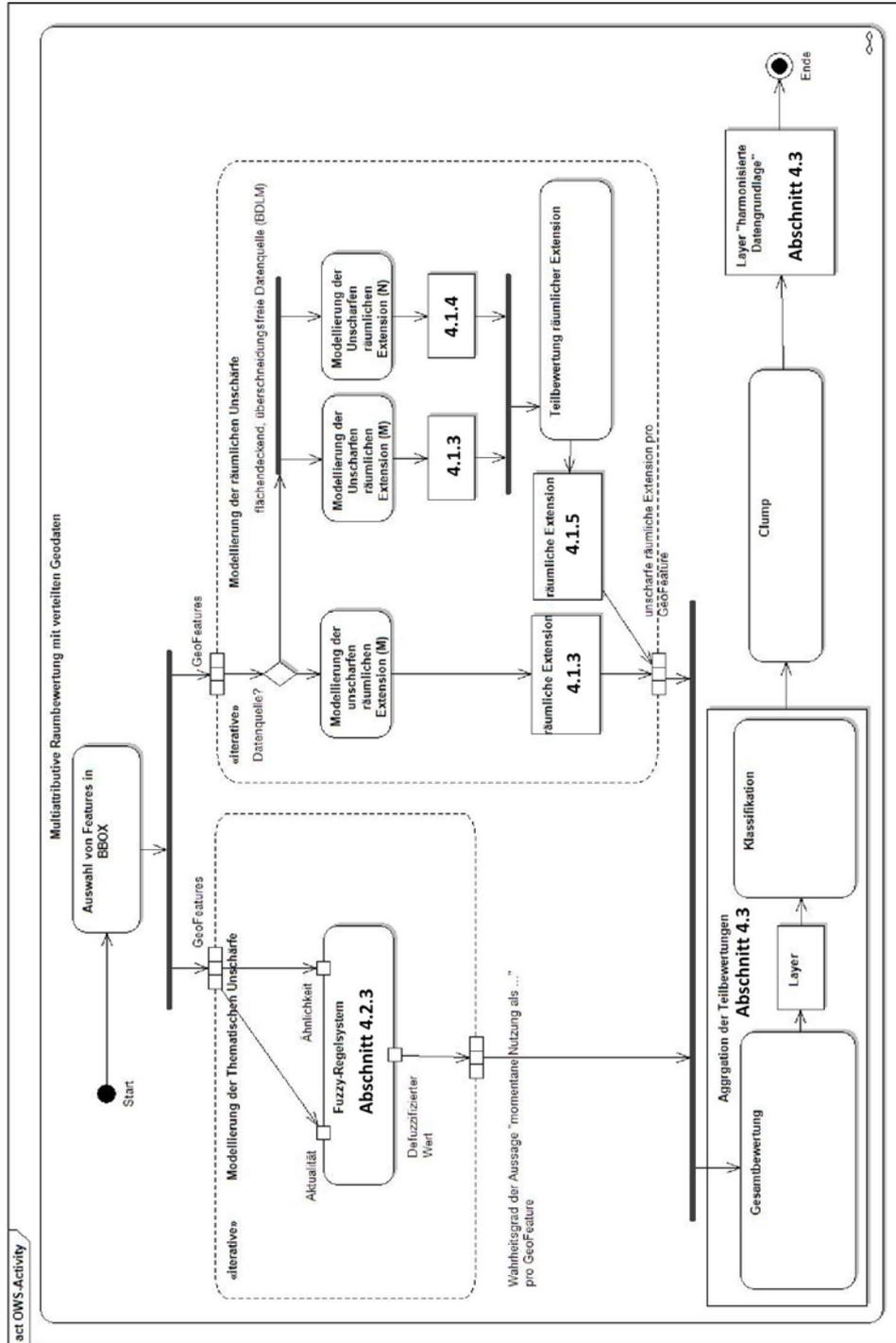
## Anhang

## A: Trainingsdaten des Neuro-Fuzzy-System

ID	Ähnlichkeit	Aktualität	Stellgröße	ID	Ähnlichkeit	Aktualität	Stellgröße
1	0.0000	0.0000	0.5000	16	0.6000	0.6000	0.5500
2	0.2000	0.2000	0.4000	17	0.6000	0.8000	0.5800
3	0.2000	0.4000	0.3000	18	0.6000	1.0000	0.6000
4	0.2000	0.6000	0.2000	19	0.7000	1.0000	0.7000
5	0.2000	0.8000	0.1000	20	0.8000	0.2000	0.5000
6	0.2000	1.0000	0.0000	21	0.8000	0.4000	0.5500
7	0.0000	1.0000	0.0000	22	0.8000	0.6000	0.7000
8	0.4000	0.2000	0.5000	23	0.8000	0.8000	0.7500
9	0.4000	0.4000	0.5000	24	0.8000	1.0000	0.8000
10	0.4000	0.6000	0.5000	25	1.0000	0.2000	0.5000
11	0.4000	0.8000	0.4500	26	1.0000	0.4000	0.5500
12	0.4000	1.0000	0.4000	27	1.0000	0.6000	0.8000
13	0.5000	1.0000	0.5000	28	1.0000	0.8000	0.9000
14	0.6000	0.2000	0.5000	29	1.0000	1.0000	1.0000
15	0.6000	0.4000	0.5000	30	----	----	----

Abbildung 37: Metawissen des Neuro-Fuzzy-System, welches zur Anpassung des Fuzzy-Regel-System nach Sugeno/Takagi genutzt worden ist.

B: Aktivitätsdiagramm



Darstellung des Systemverhalten durch ein UML Aktivitätsdiagramm.