

Automatisierte Ermittlung von erheblich veränderten Gewässerabschnitten mit heterogenen Datenbeständen

Zusammenfassung

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert die Ausweisung von erheblich veränderten Wasserkörpern. Dies ist eine sehr komplexe Aufgabe, bei der eine Vielzahl von Indikatoren zu beachten sind. Hier wird ein Screeningverfahren vorgestellt, das die Komplexität der Aufgabe reduziert und mittels einfach verfügbarer Daten Aussagen über den Grad der Veränderung von Gewässerabschnitten erlaubt. Zur Anwendung kommen Informationen zur Gewässergeometrie, Querbauwerke und Landnutzung an den Ufern, sowie ein auf Fuzzy Logic beruhendes Klassifikationsverfahren. Entwickelt und kalibriert wurde die Methodik am Beispiel der Ruhr, wo als Referenzinformation eine differenzierte Gewässerstrukturgütekartierung vorliegt. Getestet wurde anschließend am Beispiel der sächsischen Mulde. Die Testergebnisse zeigen, dass das Screeningverfahren sehr gute und praktisch verwertbare Ergebnisse liefert

Abstract

The European Union Water Framework Directive requires that each Member State identify its 'heavily modified' water bodies. This is normally a very complex task, involving a variety of factors. This paper introduces a screening method designed to reduce the complexity of the task and, using readily available data, produce statements about the degree of water body modification. Our method employs information about individual water body's geometry, artificial barriers and adjacent land uses. It then uses a classification procedure based on 'fuzzy logics'. The methods were developed and calibrated with the example of the river Ruhr, which has a very detailed River Habitat Assessment as reference data. Further, the method was tested with data on the Mulde River in Saxony. Test results showed that the screening method delivers reliable and useful information that would otherwise be very complicated and costly to derive.

richtlinie (WRRL) wurde den Mitgliedstaaten der EU die Aufgabe übertragen, den Zustand von allen Flüssen, Seen und Küstengewässern sowie des Grundwassers zu beschreiben und zu bewerten. Ziel der WRRL ist die Erreichung des guten Zustands bis 2015 für alle in den Geltungsbereich der Richtlinie fallenden Gewässer.

Eine weitere Aufgabe ist die Einstufung von Fließgewässer-Abschnitten als künstliche oder als so genannte erheblich veränderte Gewässerabschnitte. Die Begründung für die Einstufung als „erheblich verändert“ muss aufgrund der Kriterien in Art. 4(3) WRRL [15] basieren. Diese besagen, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, einen Gewässerabschnitt einzustufen. Wesentliches Kriterium ist dabei, dass eine den ökologischen Zustand beeinflussende Veränderung in einem kausalen Zusammenhang mit einer nachhaltigen Nutzung steht. Ein sehr anschauliches Beispiel stellen Trinkwassertalsperren dar, deren Existenz für eine sichere Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser notwendig ist, die aber auch einen massiven Eingriff in die Gewässermorphologie bedeutet. Im Sinne der WRRL ist dies eine mögliche Begründung für die Ausweisung als erheblich veränderter Gewässerabschnitt.

Eines der größten Probleme bei der Erkennung und Ausweisung von erheblich veränderten Wasserkörpern stellen auf EU-Ebene für weite Teile fehlende Daten dar. Die Homogenität, der Detailliertheitsgrad und die Flächendeckung der Daten nimmt mit Verkleinerung der Maßstabebene ab. Dies gilt sowohl EU-weit, wie auch im nationalen Maßstab. So gibt es beispielsweise im Bundesland Nordrhein-Westfalen eine sehr hohe Dichte an gewässerbezogenen Daten. In anderen Teilen Deutschlands wie beispielsweise in Sachsen ist die Menge an verfügbaren Daten deutlich reduziert. In vielen anderen Staaten der EU sind kaum flä-

AUTOREN

Peter Lange & Klaus Greve

1. Einführung

Screening-Verfahren dienen dazu, aus einer unübersichtlichen Menge von Objekten solche herauszufiltern, die bestimmten Kriterien entsprechen und einer intensiven Untersuchung unterworfen werden sollen. Hier wird ein Screening-Verfahren für den Umsetzungsprozess der EG-Wasserrahmenrichtlinie vorgestellt. Es zielt dabei speziell auf die Frage nach der Ausweisung „erheblich veränderter Wasserkörper“ ab.

Besondere Herausforderungen ergeben sich hier aus der gesetzten Vorgabe, auf bereits bestehende heterogene Datenbestände zurückzugreifen. Dies waren teilweise Daten mit ursprünglichem Gewässerbezug, aber auch Daten die zu völlig anderen Zwecken erhoben wurden.

Für die automatisierte Identifizierung wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem verschiedene Technologien zum Einsatz kommen, u.a. ein Bewertungsalgorithmus auf der Basis von Fuzzy-Zugehörigkeit. Die Arbeiten wurden im Rahmen des BMBF Forschungsprojektes MAKEF durchgeführt

2. Anforderungen

Zur Implementierung der Wasserrahmen-

chendeckende digitale Daten vorhanden, Daten mit direktem Gewässerbezug sind vielfach nicht vorhanden.

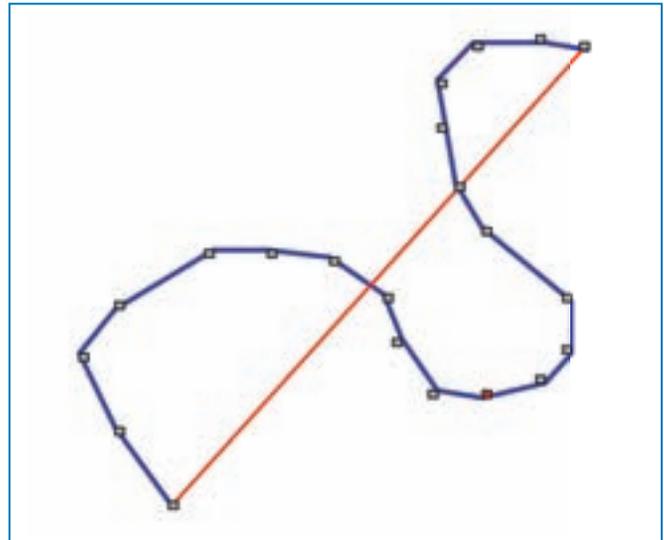
3. Lösungsansatz: Knowledge Base und Technologie

Die erste Frage die es in diesem Screening-Verfahren zu beantworten gilt, ist die Suche nach Informationen, die breit verfügbar sind und sich als Eingabedaten für eine automatisierte Bewertung des Zustands eines Gewässers eignen. Zur Implementierung eines Softwaresystems zur Identifizierung von erheblich veränderten Wasserkörpern wurde eine große Zahl an verfügbaren Geodaten auf ihre Eignung überprüft.

Um Parameter herauszufinden, die Informationen über die Veränderung der Gewässermorphologie enthalten, war der erste Schritt die Analyse der Gewässerstrukturgütekartierung, die als Vor-Ort Kartierung für das gesamte Gebiet von Nordrhein-Westfalen verfügbar war. Bei der Kartierung werden 26 Parameter erfasst, mit denen morphologische Veränderungen und menschliche Aktivitäten im Gewässerumfeld aufgenommen werden. Die Aufnahme erfolgt sehr detailliert in 100m-Abschnitten [9,14]. Diese Daten wurden genutzt, um eine erste Einstufung auf Basis dieses hoch verdichteten Datensatzes durchzuführen.

Der darauf folgende Schritt ist ein Data Mining Prozess, mit dem Charakteristika herausgefunden werden sollten, die einerseits Summenparameter für Einzelparameter sind, mit denen erheblich veränderte Gewässer gemeinsam beschrieben werden können und gleichzeitig diese

Berechnung der Sinuositätsaus den Vektoren, die den mittleren Punkt umgeben.



gut von den nicht als erheblich verändert eingestuften Gewässerabschnitten signifikant unterschieden werden können.

Dementsprechend muss der Datensatz mindestens einen Parameter enthalten, der die folgenden beiden Anforderungen erfüllt:

1. Der Parameter muss ein Summenparameter sein, der verschiedene Einzelparameter im Ausweisungsprozess ersetzen kann.
2. Der Parameter muss in anderen Datensätzen enthalten sein, die nicht den Detaillierungsgrad der Strukturgütekartierung haben.

Aus diesen Feststellungen ergibt sich die Frage nach Möglichkeiten, ohne detaillierte Informationen über die tatsächlichen Veränderungen an einem Gewässer eine Einstufung durchführen zu können. Dies ist möglich, weil es zwar

eine Vielzahl an Veränderungen an einem Gewässer gibt, diese aber meist nur zu einer geringen Zahl an ökologisch wirksamen Veränderungen führen. Allgemein lässt sich feststellen, dass fast alle diese morphologischen Veränderungen an der Gewässergeometrie oder der Hydraulik zur Folge haben. Für Fließgewässer kann generell gesagt werden: Fast alle für die Ausweisung von erheblich veränderten Gewässerabschnitten relevanten Veränderungen führen zu Begradigung oder Rückstau.

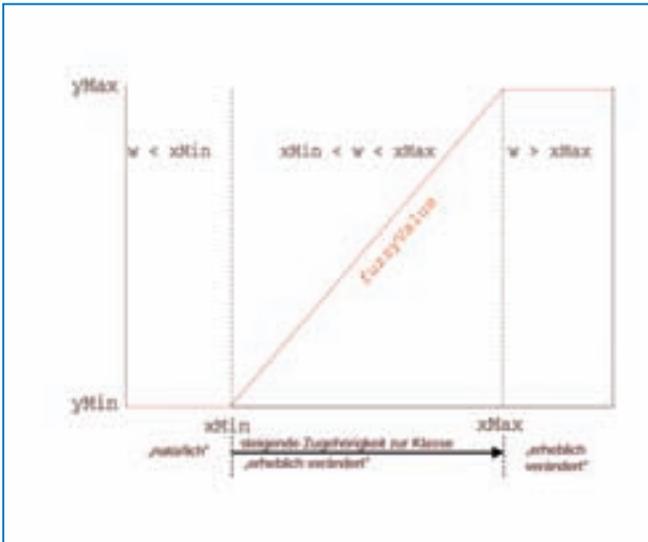
Um eine automatisierte Erkennung durchführen zu können, sind demnach digitale Daten erforderlich, aus denen diese Parameter entnommen werden können. Der nächste Schritt ist die Berechnung der mittleren Sinuosität eines Gewässersegments. Ein gangbarer Weg ist die Berechnung der Sinuosität des Gewässers an einem Punkt in einem Vektordatensatz. Diese erfolgt mittels der Berechnung der mittleren Sinuosität in einem Liniensegment, das den gesuchten Punkt umgibt (Abb. 2).

Um Informationen über Rückstau zu erhalten, sind weitere Daten erforderlich. Für das Untersuchungsgebiet in Sachsen kamen zwei verschiedene Datenquellen in Frage, um Informationen zu diesem Parameter zu erhalten. Das erste ist das Querbauwerkskataster des Freistaates Sachsen, das zweite der ATKIS Datensatz (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem).

Das ATKIS Basis-DLM (Digitales Landschaftsmodell) enthält detaillierte Informationen zu Landbedeckung und



Staumauer der Talsperre Eibenstock.



Schema der Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktion.

für die Parameter je nach Ausprägung eine Zugehörigkeit zwischen 0 und 1 erhalten. Die Klassifizierung der Daten erfolgt in der so genannten „Defuzzifizierung“, durch die eine Unterscheidung zwischen den beiden Klassen „natürlich“ und „erheblich verändert“ möglich wird.

Die Fuzzy Zugehörigkeitsfunktion wurde mit dem Ziel erzeugt, die Zugehörigkeit für einzelne Merkmale bei solchen Gewässern besonders hoch einzustufen, bei denen die Ausprägung des Merkmals auf einen deutlichen Eingriff des Menschen hindeutet. Entsprechend wurden Ausprägungen der Merkmale, die auf einen relativ natürlichen Verlauf schließen lassen, mit einer geringen Zugehörigkeit belegt.

Die Zugehörigkeitsfunktion kann als ein Graph mit der Zugehörigkeit auf der y-Achse und der Ausprägung eines Merkmals auf der x-Achse dargestellt werden. Die Fuzzy-Zugehörigkeit für einen natürlichen Wasserkörper wird dementsprechend als yMin angenommen und für einen als erheblich verändert einzustufenen als yMax. Wie in Abb. 3 dargestellt, werden für die x-Achse Minimum- und Maximum-Werte festgelegt, zwischen denen Fuzzy-Zugehörigkeitswerte vergeben werden. Werte die kleiner sind als x-Min oder größer als x-Max bekommen entsprechend die Extrema yMin bzw. yMax zugeordnet.

Dies ermöglicht es beispielsweise, die Sinuosität einer Flussgeometrie in die Berechnungen einfließen zu lassen. Aus der für den Gewässertyp charakteristischen Sinuosität wird die geringste

Landnutzung. Dementsprechend enthält es auch Objekte, die natürliche und künstliche Seen repräsentieren. Wenn ein Stillgewässer von einem Fluss durchflossen wird, kann das Stillgewässer eine Stau-strecke sein. Hierbei sei angemerkt, dass es im Untersuchungsgebiet keine natürlichen Stillgewässer gibt. Allerdings lässt sich ein künstlicher See beispielsweise erkennen, wenn an der Stelle, an der ein Fließgewässer das Stillgewässer wieder verlässt, ein Querbauwerk oder eine Stau-mauer befindet.

Mit den aus dem ATKIS Basis-DLM und dem Querbauwerkskataster stam-menden Informationen sind alle Informa-tionen verfügbar, die in diesem Verfahren für die Einstufung der Gewässersegmente genutzt werden.

4. Umsetzung: Automatisierter Ausweisungsprozess

Wie im vorigen Kapitel gezeigt wurde, kann die beschriebene Vorgehensweise als Screening-Verfahren für die Identifi-zierung erheblich veränderter Gewässer dienen.

Dieser Ansatz führt zu einer zwei-stufigen Ausweisung für die Untersu-chungsgebiete. Zwei Methoden wurden implementiert, die in Abhängigkeit von den verfügbaren Daten eingesetzt werden können:

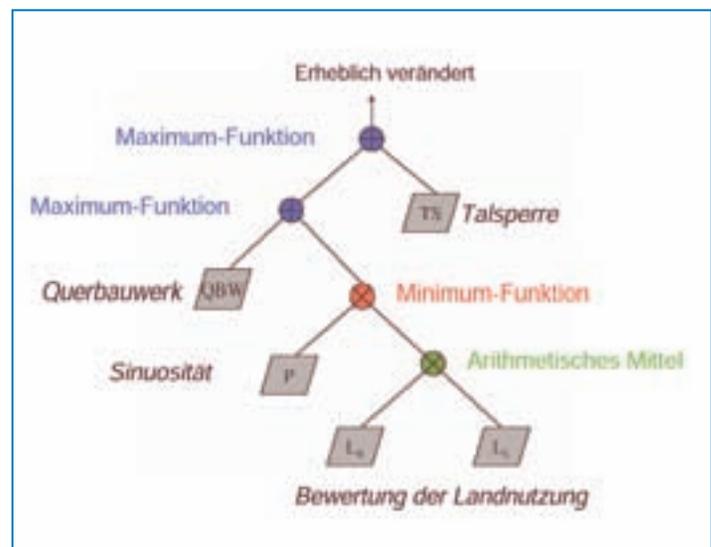
1. Ausweisung auf der Basis von hydro-morphologischen Informationen aus der Gewässerstrukturgütekartierung
2. Ausweisung auf der Basis von Gewäs-sergeometrien, Querbauwerkskataster und Landnutzungsdaten

Beide Methoden wurden im Einzugs-gebiet der Ruhr in Nordrhein-Westfalen getestet und verglichen. Da es keine mit den Strukturgütedaten aus NRW ver-gleichbare Daten im Mulde-Einzugsge-biet gibt, gehen dort nur die folgenden Parameter in den Bewertungsprozess ein:

- Einfluss der Querbauwerke und Tal-sperren auf die Biologie
- Abweichung der tatsächlichen Sinuo-sität von der charakteristischen Sinuosität des Gewässertyps
- Landnutzung als mögliche Restriktionen im Ausweisungsprozess

Diese Parameter werden in verschiedenen Schritten implementiert. Zu diesem Zweck werden Fuzzy-Logik-Prozeduren genutzt, die eine Kombination von kontinuierli-chen Daten mit Hilfe von Zugehörigkeits-funktionen erlauben. Das führt dazu, dass

Bewertungs-strategie zur Berechnung der Zugehörigkeit zu erheblich veränderten Wasserkörpern für jedes Ge-wässersegment



Zugehörigkeit	% Segmente
< 0.1	61.5
0.1 – < 0.2	6.8
0.2 – < 0.3	14.7
0.3 – < 0.4	3.5
0.4 – < 0.5	1.5
0.5 - < 0.6	3.2
0.6 - < 0.7	4.2
0.7 - < 0.8	1.1
0.8 - < 0.9	0.8
≥ 0.9	2.8

Tab. 1: Zugehörigkeitsverteilung der Gewässersegmente im Mulde Einzugsgebiet

zu erwartende Sinuosität ermittelt. Alle Werte die kleiner sind als dieser Wert bekommen einen Fuzzy-Zugehörigkeitswert zwischen 0 und 1 zugeordnet. Ist die Sinuosität geringer als 1.01, wird immer davon ausgegangen, dass dieses Gewässer stark begründet ist, da eine so geringe Sinuosität in der Natur (außer im Kerbtalbach) nicht vorkommt. Alle Werte $x < 1.01$ werden immer mit einer Zugehörigkeit von 1.0 versehen.

Die Berechnung für den Parameter Landnutzung erfolgt in etwas anderer Weise. Im ATKIS Basis-DLM sind die Objekte in sehr detaillierte Klassen untergliedert. Diese können nicht direkt in das Fuzzy-Bewertungsschema eingeordnet werden. Jeder Landnutzungs-kategorie muss zuvor eine individuelle Zugehörigkeit vergeben werden. Die Vergabe des Wertes richtet sich nach dem Einfluss, den ein Objekt einer Objektart auf das Gewässer hat (z.B. Ackerland direkt am Gewässer) bzw. nach den Einschränkungen bei einer potenziellen Renaturierung, die durch die mit dem Objekt verbundenen Nutzungen gegeben sind (z.B. Wohnbebauung direkt am Ufer).

In Abb. 4 ist die Struktur des Bewertungssystems dargestellt. Durch die CIS Arbeitsgruppe 2.2 [5] wurde festgelegt, dass Talsperren (R) per Definition als erheblich verändert einzustufen sind. Dementsprechend müssen keine weiteren Berechnungen durchgeführt werden, wenn die Objektart des Gewässers in einem Abschnitt zu "Talsperre" wechselt. Befindet sich ein Querbauwerk (D) in einem Gewässerabschnitt, wird dieser Abschnitt

in Abhängigkeit von der biozönotischen Wirksamkeit des Bauwerks bewertet. Dabei sind beispielsweise die Höhe und die Durchgängigkeit für Wanderfische von entscheidender Bedeutung, sofern diese Informationen in den Daten enthalten sind.

Die Parameter Sinuosität und Landnutzung werden in einer Fuzzy-Minimum-Funktion kombiniert, so dass immer der niedrigere von beiden Parametern den Ausschlag für die Bewertung gibt. Als Wert für die Landnutzung geht der Mittelwert aus den Landnutzungen an beiden Ufern des Gewässers (LR = Landnutzung rechts; LL = Landnutzung links) in die Berechnung ein.

Dies hat zur Folge, dass nur in dem Fall, dass sowohl die Zugehörigkeiten beider Landnutzungen als auch die der Sinuosität hoch sind, auch die resultierende Bewertung hoch sein kann. Beispielsweise ist dies der Fall, wenn eine starke Begründung vorliegt und auf beiden Seiten eine intensive Landnutzung.

In einem letzten Schritt wird der jeweils höhere der beiden Bewertungen aus "Querbauwerken" und "Landnutzung / Sinuosität" ausgewählt.

Ergebnis des gesamten Auswertungsprozesses ist ein Wert, der zwischen 0 für "eindeutig nicht erheblich verändert" und 1 "sicher erheblich verändert" liegt. Die Verteilung der Ergebnisse ist in Tab. 1 für das Mulde Einzugsgebiet dargestellt und zeigt, dass mehr als 60% der Gewässerabschnitte als eindeutig nicht erheblich verändert eingestuft wurden. Der Hauptgrund für die Klassifikation als erheblich verändert liegt in der Kombination von Landnutzung und Sinuosität.

5. Implementierung des Verfahrens

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion um den produktiven Einsatz von Open Source Software auf den Ebenen von Bundesregierung, der Bundesländer aber auch der Europäischen Union wurde die in diesem Verfahren eingesetzte Software ausschließlich unter Einbeziehung von Open Source Komponenten implementiert. In einer Linux Umgebung wurde eine Java Applikation entwickelt, die auf eine PostgreSQL Datenbank mit PostGIS-Modul zur Speicherung und Verarbeitung von Geodaten zurückgreift. Durch die plattformunabhängige Java-Anwendung unter Einsatz der JTS-Bibliothek (Java Topology Suite) zur Verarbeitung von Ge-

odaten ist es möglich, verschiedene Betriebssysteme einzusetzen. Die notwendigen Teile des CIS-GIS-Datenmodells [4] wurden in dem Datenbankschema und als Java-Klassen implementiert. Die Kommunikation zwischen der Datenbank und den Java-Klassen sowie die Visualisierung der Karten werden durch OGC-konforme WMS und WFS Dienste ermöglicht. Für den Prozess des Data Mining zur Ermittlung der erforderlichen Parameter wurde Weka eingesetzt.

Die für die Berechnungen erforderlichen Geodaten wurden als Simple Features in der Geodatenbank gehalten. Für die Verarbeitung wurde auf verschiedene OGC-konforme Funktionen zurückgegriffen, um die Daten beispielsweise zu buffern oder zu verschneiden. Der Einsatz dieser Funktionen wurde notwendig, weil die linienförmigen Geometriedaten der Fließgewässer mit den Punktdaten der Querbauwerke, den Polygonen der Landnutzungsdaten und Talsperren verschnitten werden mussten, um die Bewertungen durchführen zu können. Um dies zu ermöglichen, wurden die Gewässerlinien in einem ersten Schritt in kleine Segmente unterteilt, wenn sich an mindestens einem Ufer die Objektart der Landnutzung ändert. Daraus folgend ist jedes Gewässersegment hinsichtlich der Landnutzung an beiden Ufern auf der gesamten Länge homogen.

Ziel bei dieser Vorgehensweise ist es, der Linie bzw. dem Liniensegment als zu bewertendes Objekt alle Attribute hinzuzufügen, die für eine Einstufung der Zugehörigkeit nach dem hier vorgestellten Verfahren erforderlich sind. Die hierzu notwendigen Informationen sind die Landnutzung an beiden Seiten des Gewässers, die Sinuosität und möglicherweise in den Daten enthaltene Informationen über Querbauwerke im Gewässer.

Letztendlich sind alle Funktionen unabhängig voneinander in eigenen Java-Klassen abgelegt. Das Gesamtsystem wird von einem Controller aus gesteuert, der die Klassen nacheinander aufruft und die Ausgabe der Daten steuert. In jedem Schritt kann die Abarbeitung unterbrochen werden und jeder Schritt kann einzeln erneut gestartet werden. Diese Möglichkeit ist sinnvoll, da sich die Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen den Veränderungen am Gewässer und deren ökologische Wirksamkeit ändern kön-

nen. Ebenso ist es möglich, dass sich die Einschätzung ändert, welche Nutzungen direkt am Gewässer als besonders erhaltenswert zustufen sind.

In solchen Fällen, aber auch wenn verschiedene Bewertungs-Szenarien durchgespielt werden sollen, kann es sinnvoll sein, die Bewertungen der Gewässersegmente neu zu berechnen. Die sehr zeitaufwändige Vorbereitung der Grundlagendaten muss in solchen Fällen nicht jedes Mal neu gerechnet werden, wenn dort keine Änderungen stattgefunden haben.

6. Schlussfolgerungen

Der hier vorgestellte Ansatz dient dazu, die Methodik für die Erkennung von erheblich veränderten Gewässersegmenten auf wenige Parameter zu reduzieren. Dabei wurde die Fuzzy-Zugehörigkeit aus den Parametern Gewässergeometrie, Landnutzungs-kategorie auf beiden Seiten des Gewässers und Stau bzw. Querbauwerk ermittelt. Die Daten für die Testanwendung wurden dem ATKIS bzw. dem Querbauwerkskataster des Freistaates Sachsen entnommen.

Mit dieser Herangehensweise wird kein direkter kausaler Zusammenhang zwischen einer Nutzung durch den Menschen und dem Bewertungsergebnis vorausgesetzt. In einigen Fällen, wie Ackerland und Talsperren kann eine solche Verbindung abgeleitet werden.

Die Fuzzy-Logik wurde als Basis für die Bewertung der Algorithmen und zur Evaluierung der Gewässersegmente genutzt. Diese Methode hat sich als sehr gut brauchbar erwiesen, um mit kontinuierlichen Datenmengen operieren zu können. Hierdurch war es auch möglich, linguistische Variablen wie beispielsweise "intensive Landnutzung" in die Berechnung mit einzubeziehen.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit der in räumlicher und inhaltlicher Sicht sehr viel genaueren Gewässerstrukturgütekartierung des Landes Nordrhein-Westfalen zeigt eine sehr große Übereinstimmung, obwohl die Informationsdichte in der Gewässerstrukturgütekartierung nach dem Vor-Ort Verfahren sehr viel höher ist. Bei dem Vergleich wurde eine Übereinstimmung der Ergebnisse in 85% der Segmente ermittelt.

Einzelne besondere morphologische Veränderungen konnten nicht genau er-

kannt werden, da für diese Fälle keine Informationen in den Daten enthalten waren. In den meisten Fällen war die Länge von begrädeten Strecken zu kurz um durch den Algorithmus richtig erkannt zu werden.

Abschließend bleibt die Feststellung, dass mit dem vorgestellten Screening-Verfahren ein sehr performantes Verfahren entwickelt wurde, mit dessen Hilfe die Bearbeitung große Einzugsgebiete unterstützt werden kann. Die Stärke des Verfahrens ist die Vorselektion von Gewässerstrecken, die überhaupt für die Ausweisung als "erheblich verändert" in die engere Wahl kommen. Die bei einem weiteren Schritt mit einer präziseren Methode zu betrachtende Streckenlänge kann auf diese Weise bereits im Vorfeld um etwa 90% reduziert werden. ■

Literatur:

- [1] Barth, F. (1997): Die neue Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union – Chance oder bürokratisches Hemmnis für die europäische Wasserpolitik? *Wasser und Boden* 49(5): 7 – 9.
- [2] Buckley, J. J. & E. Eslami: *An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*. Physica Verlag, Heidelberg 2002
- [3] CIS Horizontal Guidance Water Bodies: Identification of Water Bodies - Horizontal Guidance Document on the Application of the Term 'Water Body' in the Context of the Water Framework Directive 2003
- [4] CIS Working Group 3.1: Guidance Document on Implementing the GIS Elements of the WFD. 4th December 2002.
- [5] CIS Working Group 2.2: Leitfaden zur Identifizierung und Ausweisung von erheblich veränderten und künstlichen Wasserkörpern, 2002
- [6] Dubois, D. & H. Prade, Hrsg.: *Fundamentals of Fuzzy Sets*. Kluwer Academic Publishers. Boston, London, Dordrecht. 2000
- [7] Hansen, W., E. Kampa, Ch. Laskov and A. Kraemer: CIS Working Group 2.2 on Heavily Modified Water Bodies: Synthesis Report on the Identification and Designation of Heavily Modified Water Bodies. 2002
- [8] Lange, Peter: *Entwicklung einer GIS-gestützten Methodik zur automatisierten Identifizierung erheblich veränderter Gewässerabschnitte unter Verwendung von Landnutzungsdaten*. Dissertation, Universität Bonn, 2005. http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2005/lange_peter
- [9] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Hrsg.: *Merkblätter: Nr. 14 Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen*. Kartieranleitung. Essen 1998
- [10] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Hrsg.: *Merkblätter: Nr. 17 Leitbilder für die kleinen bis mittelgroßen Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen* 1999
- [11] Mandl, P.: *Räumliche Entscheidungsunterstützung mit GIS: Nutzwertanalyse und Fuzzy-Entscheidungsmodellierung*. Salzburger Geographische Materialien 21 S. 463–473, 1994
- [12] Müller, A., P. Podraza, D. Glacier, K. Greve, M. Halle und Th. Zumbroich: *Fallstudie Zwickauer Mulde*. In: *Umweltbundesamt, Hrsg.: Fallstudien zu erheblich veränderten Gewässern in Deutschland*. Berlin. S. A6–1 – A6–48, 2004
- [13] Podraza, P., A. Müller, D. Glacier, K. Greve, M. Halle und Th. Zumbroich: *Fallstudie Ruhr*. In: *Umweltbundesamt, Hrsg.: Fallstudien zu erheblich veränderten Gewässern in Deutschland*. Berlin. S. A5–1 – A5–99, 2004
- [14] Zumbroich, Th., A. Müller und G. Friedrich, Hrsg.: *Strukturgüte von Fließgewässern - Grundlagen und Kartierung*. Berlin, Heidelberg 1999
- [15] WFD: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy

AUTOREN:

Dr. Peter Lange
Anwendungsbetreuung /
Anwendungsentwicklung
Informationssystem Ernährungsnotfall-
vorsorge

Zentralstelle für Agrardokumentation
und -information (ZADI)
Villichgasse 17, 53177 Bonn
www.zadi.de
lange@zadi.de

Prof. Dr. Klaus Greve
Lehrstuhl GIS und Fernerkundung

Universität Bonn, Geographisches Institut
Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn
www.geographie.uni-bonn.de/greve
klaus.greve@uni-bonn.de