

Kurzbericht zum
Forschungs- und Entwicklungsprojekt
– Fortsetzungsvorhaben Teil 2 –

***Weiterentwicklung eines
Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung
des Gefährdungspotenzials für das
Grundwasser bei Bau und Betrieb von
Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten
sowie als Entscheidungshilfe für die
Auswahl des Ableitungssystems***

gefördert durch das
**Ministerium für Umwelt, Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV)
des Landes Nordrhein-Westfalen**
Förderkennzeichen IV-9-042 387 0010

Antragsteller:
**Ruhr-Universität Bochum
Fakultät für Bauingenieurwesen**

Projektpartner:
**GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG
Prof. Dr. J. Wagner, Neunkirchen**

Bearbeiter:
Prof. Dr.-Ing. Dietrich STEIN
Prof. Dr. Jürgen WAGNER
Dipl.-Geogr. Patrik WOLF
Dipl.-Ing. Adrian UHLENBROCH
Dipl.-Ing. Hasan CAKMAK

Dezember 2006

Forschungsanlass

In verdichteten Siedlungsräumen und somit im Besonderen auch in weiten Teilen Nordrhein-Westfalens kommt es aufgrund der Überlagerung von zum Teil historisch bedingten Raumnutzungen zu einem konkurrierenden Nebeneinander von Oberflächennutzungen und dem Grundwasserschutz.

Durch räumliche, technische und rechtliche Zwangspunkte ist es nicht immer möglich, in Raumbereichen, die für die Gewinnung von Grundwasser zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden, auf Abwasserkanäle zu verzichten. Ist ein räumliches Nebeneinander von Siedlungsentwässerung und Wassergewinnung unvermeidbar, müssen Abwasserleitungen und -kanäle so angelegt und betrieben werden, dass eine Verunreinigung oder eine sonstige nachteilige Veränderung des Grundwassers nachhaltig vermieden wird. In besonderem Maße gilt dies für Einzugsgebiete von Wassergewinnungen, die Trinkwasser für die öffentliche Versorgung bereitstellen.

Bei der Planung neuer Abwasserkanaltrassen in wasserwirtschaftlich genutzten Gebieten stellt sich die Frage, in welcher Art und Weise Kanäle baulich ausgeführt werden sollen und welche Vorsorge- und Sicherungsmaßnahmen beim Neubau sowie beim späteren Betrieb zu berücksichtigen sind, um einerseits das Grundwasser bestmöglich zu schützen und andererseits die Kostenstruktur der Baumaßnahme ökonomisch zu gestalten. Häufig, jedoch nicht immer wurde die teure Verwendung aufwändiger und kostenträchtiger doppelwandiger Rohrsysteme als einzig sinnvoll erachtet, um den Anforderungen des Grundwasserschutzes ausreichend gerecht zu werden.

In Abhängigkeit von der geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation im betroffenen Wasserschutzgebiet sowie der baulichen Gestaltung des Abwasserkanals ist in manchen Fällen eine derartige teure Maximallösung jedoch nicht zwingend erforderlich. Auch weniger kostenintensive Lösungen können von Fall zu Fall ausreichen, ohne dass aus ihnen ein höheres Gefährdungspotenzial für das Grundwasser resultiert.

Forschungsziel

Wann welche Bauausführung sinnvoll und zu empfehlen ist, gilt es, objektiv zu ermitteln. Hierzu erscheint gerade für die Ausgangssituation in Nordrhein-Westfalen ein Expertensystem prädestiniert, das Entscheidungshilfen bei der Beurteilung der potenziellen Grundwassergefährdung gibt und der Absicherung, Überprüfung und Modifikation der Kanalplanung dient.

Es kann Informationen zur geplanten Bauausführung und zu gebiets- und untergrundspezifischen Gegebenheiten im betroffenen Gewinnungsgebiet erheben, mit Hilfe derer eine repräsentative Darstellung der Ausgangssituation im Planungsraum möglich ist. Diese dient als objektive Grundlage für eine sachliche Beurteilung der beabsichtigten Kanalbaumaßnahme und der komplexen räumlichen Situation im Hinblick auf die Erfordernisse des Grundwasserschutzes. Aus einer Abwägung der Raum- und Planungssituation gehen Handlungsempfehlungen und Gefährdungseinschätzungen hervor, die eine effizien-

te Objektplanung ermöglichen und den Einsatz finanzieller Mittel zur Realisierung des Kanalbauvorhabens auf das erforderliche Maß begrenzen, ohne dass der Schutz des Grundwassers und die Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung vernachlässigt wird.

Zur Entwicklung eines solchen Expertensystems ist zunächst die Schaffung eines umfangreichen theoretischen Fundamentes erforderlich, in dem aktuelle fachwissenschaftliche Literatur berücksichtigt wird und nachvollziehbare Begründungen für verschiedene Argumentationen formuliert sind. Dies ist Voraussetzung für das Finden geeigneter Erhebungspunkte (Beurteilungskriterien), aus deren Abfrage die Ausgangssituation bezüglich Planungsraum und Baumaßnahme hervorgeht. Diese Beurteilungskriterien müssen differenziert und ihrer Aussagekraft für spätere Entscheidungen bewertet werden.

Die Erarbeitung dieser Grundlagen war Ziel und Inhalt des F+E-Projektes Teil 1 „Entwicklung eines computerbasierten Expertensystems zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser und der Auswahl der fachlich geeigneten Vorgehensweise bei der Verlegung von Abwasserleitungen und -kanälen in Wasserschutzgebieten“, das dem in diesem Bericht vorgestellten Fortsetzungsvorhaben vorausging und im November 2003 erfolgreich abgeschlossen wurde.

Die fachlich-wissenschaftliche Grundlagen für die Erstellung eines computergestützten Experten- bzw. Entscheidungshilfesystems stellten den Ausgangspunkt für weitere Betrachtungen dar. Um diese nutzbar zu machen, war die Weiterentwicklung eines Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser beim Bau und Betrieb von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten erforderlich, der als konkrete Entscheidungshilfe für die Planung des Ableitungssystems genutzt werden kann.

Hierzu wurden im Fortsetzungsvorhaben Teil 2 die aus Teil 1 hervorgegangenen Checklisten in benutzerorientierte Fragebögen überführt und die bis dato eigenständig betrachteten Beurteilungskriterien und deren Antworten fachlich miteinander verknüpft. Den Antwortenvernetzungen wurden Handlungsempfehlungen und Einschätzungen des Grundwassergefährdungspotenzials zugewiesen, so dass mit Abschluss des F+E-Projektes Teil 2 das gewünschte Experten- und Entscheidungshilfesystem in Papierform vorliegt, das basierend auf der Erhebung einzelfallspezifischer Gegebenheiten bezüglich geplantem Kanalbauwerk und Wassergewinnungsgebiet, eine Aussage zur potenziellen Grundwassergefährdung und dem zu empfehlenden Ableitungssystem ermöglicht. Damit steht letztlich nur noch die Umsetzung der Resultate beider Forschungsvorhaben in einer computernutzbaren Anwendersoftware aus.

Ressourcenschutz

Vor dem Hintergrund der Diskussion über den nachhaltigen Umgang mit Naturressourcen, allen voran dem Wasser als Grundvoraussetzung für Leben und Wirtschaft, besitzt die langfristige Sicherung von Grundwasser in ausrei-

chender Menge, vor allem aber guter Beschaffenheit eine vordringliche Bedeutung. Nach einer Statistik des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) aus dem Jahr 2003 fördert das Land Nordrhein-Westfalen jährlich etwa 1,04 Mrd. m³ Wasser, von denen 442 Mio. m³ auf echtes Grundwasser und etwa 12 Mio. m³ auf Quellwasser entfallen. Der Anteil des Grund- und Quellwassers an der Gesamtförderung beträgt damit knapp 44 %. Mit 3.876 km² sind derzeit rd. 11,4 % der Fläche Nordrhein-Westfalens von insgesamt 34.072 km² als Wasserschutzgebiet festgesetzt. Nach heutigen Planungsvorstellungen wird dieser Anteil auf bis zu 19,0 % und damit eine Fläche von 6.482 km² anwachsen.

Neben den aufgrund von Alterungserscheinungen am Kanalnetz erforderlichen Sanierungen und Sanierungsneubauten müssen in Deutschland nach Schätzungen von DOHMANN (1997) bis zum Jahr 2015 pro Jahr rd. 2.000 km an Abwasserkanälen mit einem jährlich Investitionsvolumen von rd. 1,2 Mrd. Euro neu verlegt werden. Überträgt man diese Zahlen auf Nordrhein-Westfalen, so beträgt der Neubaubedarf hier jährlich rd. 190 km. Für die Wasserschutzgebiete Nordrhein-Westfalens errechnet sich eine zu errichtende Kanallänge für Sanierungsneubau und erstmaligen Trassenneubau von zusammen rd. 82 km pro Jahr. Unberücksichtigt bleiben hierbei private Abwasserleitungen, deren Länge etwa zwei- bis dreimal größer ist als die der öffentlichen Abwasserkanäle sowie die erwähnte Planungsabsicht, in Zukunft weitere Landesflächen als Wasserschutzgebiete festzusetzen.

Die Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser sowie die davon abhängige Festlegung der baulich-konstruktiven Anforderungen an das Ableitungssystem stellt eine Aufgabe mit hohem Aufwand und Schwierigkeitsgrad bei der Planung von Abwasserleitungen und -kanälen in Wasserschutz- bzw. Wassergewinnungsgebieten dar.

Die Komplexität der Thematik ist wesentlicher Grund dafür, dass sich im ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ weitgehend auf generelle Richtlinien für die Planung und den Bau von Abwasserkanalisationen in Wasserschutzgebieten konzentriert wird. Zwar sind Auflagen, Regelungen, Forderungen und auch Empfehlungen bezüglich der Wahl des Ableitungssystems in Wassergewinnungsgebieten in Abhängigkeit vom Gefährdungspotenzial enthalten, jedoch wird keine konkrete Entscheidungshilfe zur individuellen Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser im Einzelfall gegeben. Genau diese Einschätzung stellt jedoch bei der Planung eine Aufgabe höchster Wichtigkeit dar und ist Grundlage für eine objektive Bewertung verschiedener baulich-konstruktiver Lösungsansätze in Bezug auf die komplexen bauwerks- und untergrundspezifischen Randbedingungen.

Arbeitsschritte 1 + 2

Innerhalb des F+E-Projektes Teil 1 wurden die wissenschaftlichen Zusammenhänge als Grundlage für das im Weiteren zu entwickelnde Expertensys-

tem erarbeitet. Die durchgeführten Arbeiten gliederten sich dabei in die beiden Bausteine **Literatur- und Informationsrecherche (Arbeitsbaustein 1)** und **Erarbeiten der wissenschaftlichen Zusammenhänge (Arbeitsbaustein 2)** mit den Schwerpunkten Finden von Beurteilungskriterien (Erhebungsfragen), Differenzieren und Quantifizieren dieser Kriterien (Bestimmen von Antwortalternativen) sowie Bewertung der Differenzierungen und Quantifizierungen (Antwortalternativen), Formulierung exemplarischer Handlungsempfehlungen.

Aufgabe war es, Einflusskriterien zu finden und zu differenzieren, die eine Aussagekraft zur fachlich richtigen Einschätzung der Grundwassergefährdungssituation beim Bau und Betrieb von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten besitzen und relevant für die Absicherung, Überprüfung und Modifikation der beabsichtigten Abwasserkanalbauplanung sind. Diese Kriterien ließen sich in solche mit Bezug zum Kanalbauwerk und zur Maßnahmendurchführung und in solche mit Bezug zu Gelände, Untergrund und Grundwasser differenzieren.

Der Abschlussbericht zum F+E-Projekt Teil 1 beinhaltet eine in dieser Form einmalige und umfassende, fachlich-wissenschaftliche Grundlage zur Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser bei der Verlegung von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten aus bautechnischer sowie geologischer und hydrogeologischer Sicht, die als Bewertungsbasis für die Fortführung der Betrachtungen im Forschungsvorhaben Teil 2 diene.

Vorbereitender Arbeitsschritt

Vor Inangriffnahme der Arbeitsschritte 3 bis 5 erfolgte zu Beginn des F+E-Projektes Teil 2 ein vorbereitender Baustein, in dem die Ergebnisse des ersten Projektteiles für die nachfolgenden Arbeiten optimiert wurden. Zunächst erfolgte dabei eine **Betrachtung der vorliegenden Checklisten** des F+E-Projektes Teil 1, bei der überprüft wurde, inwieweit aufgrund neuester Abwägungsergebnisse eine Optimierung die in den Checklisten berücksichtigten Beurteilungskriterien (Erhebungsfragen) und Differenzierungen (Antwortmöglichkeiten) zur deren Integration in den weiterzuentwickelnden Bewertungsalgorithmus sinnvoll sein würde.

Es erfolgte eine **Optimierung und Umformung der Checklisten in Fragebögen**, wobei aus den hinsichtlich Anzahl und Schwerpunktsetzung der Situations- und Planungserhebung angepassten Checklisten konkrete praxis- und anwenderbezogene Fragen erstellt wurden. Im Anschluss wurde die bereits im ersten Projektteil auszugsweise und exemplarisch zusammengestellte **vorläufige Liste von Handlungsempfehlungen und Gefährdungseinschätzungen** (HE/GE-Liste) als Arbeitsgrundlage und Zielorientierung für die weiteren Betrachtungen überarbeitet. Berücksichtigt wurden Empfehlungen und Maßnahmen z.B. zur Sicherung, Vorsorge, Standort- oder Verfahrensüberprüfung und Kenntnisverbesserung, die sich in der Praxis als sinnvoll zur Reduzierung des Grundwassergefährdungsrisikos erweisen können sowie eine erste differenzierte Angabe verschiedener Gefährdungseinschätzungen.

Gefährdungseinschätzungen und Handlungsempfehlungen stellten beim zu erarbeitenden Bewertungsalgorithmus die zu erreichenden „Aussageziele“, die Abfragen die „Ausgangspunkte“ dar. Die relevanten Verknüpfungen der Antwortmöglichkeiten bilden die „Wege“, die zu den einzelnen Zielen führen.

Arbeitsschritt 3

In Arbeitsschritt 3 erfolgte die **Ermittlung, Analyse und Dokumentation von möglichen und bei der Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser bedeutsamen Zusammenhänge, Beeinflussungen und Abhängigkeiten (Interaktionen) zwischen den einzelnen Einflusskriterien.**

Sie zielte darauf ab, relevante und aufgrund ihrer Auswirkungen auf das Gefährdungspotenzial zu berücksichtigende Verknüpfungen zwischen den Einflusskriterien (Erhebungsfragen) zu erarbeiten. Die Kenntnis dieser Interaktionen stellte die Grundlage für die Betrachtung wichtiger Antwortenverknüpfungen in Arbeitsschritt 4 dar, aus denen Handlungsempfehlungen sowie die Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser hervorgingen.

Aufgrund der Vielzahl möglicher thematischer Querverbindungen musste sich zur Wahrung der Umsetzbarkeit des Bewertungsansatzes und zur Zusammenführung in einem Bewertungsalgorithmus auf solche Fragenverknüpfungen beschränkt werden, die für die Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser und die Zuweisung von Handlungsempfehlungen zur Modifikation der Kanalbauplanung unmittelbar von Relevanz sind. Bei der Art der Fragenverknüpfung wurde zwischen fachinhaltlichen und plausibilitätsbezogenen Verknüpfungen unterschieden.

Methodisch wurde so vorgegangen, dass jede Erhebungsfrage der aus den Checklisten hervorgegangenen Fragebögen nacheinander jeder anderen Frage gegenübergestellt und mit ihr abgeglichen wurde. Dabei wurde beurteilt und abgewogen, ob zwischen beiden ein für die vorliegende Fragestellung bedeutender Zusammenhang besteht. Ergebnis war eine tabellarische Auflistung, welche thematisch-fachliche Verknüpfungen zwischen den Fragen zusammenstellt (Fragenverknüpfungstabelle). Die Arbeiten hierzu erforderten ein umfangreiches Fachwissen im Hinblick auf die komplexen geowissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Aspekte sowie deren Wechselwirkungen mit Bezug zu Bautechnik und Untergrund.

Arbeitsschritt 4

Nach der Analyse der Fragenverknüpfungen ging es im Arbeitsschritt 4 darum, **kritische, d.h. entscheidungsrelevante Antwortenkombinationen als solche zu erkennen und diesen Handlungsempfehlungen bzw. eine Bedeutung bei der Gefährdungseinschätzung zuzuordnen.**

Zunächst galt es, eine tabellarische Auflistung aller Einzelantworten und verknüpften Antworten, d.h. Antwortenkombinationen, zu erarbeiten, die aus der Verknüpfung der interagierenden Fragen resultierten (Antwortenverknüpfungstabelle). Dabei war jede mögliche Antwort einer Frage jeder möglichen Ant-

wort der verknüpften Fragen gegenüberzustellen, so dass alle aus der Verknüpfung hervorgehenden Permutationen Beachtung fanden. Auch die alleinige Aussagebedeutung der Einzelantworten ohne Verknüpfung mit Antworten anderer Fragen war jeweils zu berücksichtigen.

Im Weiteren mussten in einer Relevanzprüfung für die Zuweisung von Handlungsempfehlungen oder die Gefährdungseinschätzung bedeutsame Antworten bzw. Antwortkombinationen als solche erkannt und von Antworten bzw. Antwortkombinationen unterschieden werden, aus denen keine Handlungsempfehlungen zur Modifikation der Abwasserkanalbauplanung resultieren oder die kein besonderes Gewicht bei der Einschätzung des Gefährdungspotenzials besitzen. Im Vorfeld dazu wurde zunächst in einer Plausibilitätsprüfung die Logik der einzelnen Antwortenverknüpfungen betrachtet. Warum bestimmte Antwortenverknüpfungen Beachtung im Expertensystem fanden und welche Aussagebedeutung sie besitzen, wurde textlich festgehalten.

Im Anschluss wurden den als relevant eingestuften Antworten bzw. Antwortkombinationen Handlungsempfehlungen zugeordnet. Die bis zu diesem Zeitpunkt nur vorläufige, als Arbeitsgrundlage und Zielorientierung dienende HE/GE-Liste wurde in diesen Zusammenhang konkretisiert und in ihre abschließende Form überführt.

Die Einschätzung des von der geplanten Baumaßnahme ausgehenden Gefährdungspotenzials für das Grundwasser erfolgt im Bewertungsalgorithmus ebenfalls auf Grundlage bestimmter Antworten bzw. Antwortkombinationen. In Anlehnung an das ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 142 sowie das Merkblatt M 146 wurde eine Einordnung des Gefährdungspotenzials in die Klassen „besonders hoch“, „hoch“ und „weniger hoch“ gewählt. Hierzu waren sogenannte Schlüsselantworten bzw. -kombinationen zu definieren, welche besonders kritische oder aber risikoentschärfende Konstellationen im Wasserschutzgebiet repräsentierten und als Basis für die Einschätzung des potenziellen Gefährdungsrisikos geeignet waren. Es war zu unterscheiden zwischen „risikoentschärfenden“ und „risikoverschärfenden Schlüsselantworten“.

Arbeitsschritt 5

Arbeitsschritt 5 umfasste zunächst das **Erstellen von Zuordnungstabellen**. Der Bewertungsalgorithmus zur Beurteilung des von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials sowie zur Empfehlung von Planungsmodifikationen baut sich aus festgelegten und feststehenden Zuordnungen auf, die sich auf das Zutreffen oder Nichtzutreffen von räumlichen und planungsspezifischen Gegebenheiten beziehen, welche aus der Beantwortung der Erhebungsfragen hervorgehen und angeben, welche Handlungsempfehlungen oder Gefährdungseinschätzungen beim Zutreffen welcher Antworten bzw. Antwortkombinationen auszusprechen sind.

Zwischen Antworten bzw. Antwortkombinationen und Handlungsempfehlungen bzw. Gefährdungseinschätzungen ergeben sich Wenn-Dann-Bezie-

hungen, die Bedingungen und Konsequenzen formulieren. Ein auf festen Wenn-Dann-Zuordnungen basierender Bewertungsalgorithmus lässt sich problemlos in eine Programmierung umsetzen, da die Programmiervorschriften des Algorithmus vornehmlich auf IF-THEN-Operationen zwischen den gegebenen und im Anschluss verknüpften Antworten und den resultierenden Handlungsempfehlungen und Gefährdungseinschätzungen beruht.

Hierzu waren die für die Zuweisung von Handlungsempfehlungen und die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung bedeutsamen Antworten bzw. Antwortenkombinationen aus der in Arbeitsschritt 4 erarbeiteten Antwortenverknüpfungstabelle zu exzerpieren. Für die Zuordnung der Handlungsempfehlungen und die Zuweisung der Gefährdungseinschätzungen wurden verschiedene Zuordnungstabellen erstellt.

Führten mehrere Antworten bzw. Antwortenkombinationen zur selben Handlungsempfehlung war abzuwägen, ob die verschiedenen Antworten bzw. Antwortenkombinationen eine graduelle Abstufung der Handlungsempfehlungen zulassen oder dar erforderlich machten.

Die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung erfolgte ebenfalls über entsprechende Zuordnungstabellen. Ausgangspunkt für die Einschätzung des von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials und Grundlage für die weiteren Betrachtungen waren die risikoverschärfenden bzw. risikoentschärfenden Schlüsselantworten der Antwortenverknüpfungstabelle aus Arbeitsschritt 4.

Die Gefährdungseinschätzung fußt auf der Tatsache, dass das Grundwassergefährdungspotenzial in einem Wasserschutzgebiet grundsätzlich als „hoch“ einzustufen ist, wenn keine besonderen Konstellationen für eine andere Einstufung sprechen. Diese formelle Zuweisung erfolgt auf Grundlage der Betonung der besonderen Bedeutung des Schutzgutes Grundwasser in einem wasserwirtschaftlich zur Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser genutzten Raumabschnitt. Liegen bestimmte risikoverschärfende bzw. risikoentschärfende Gegebenheiten vor – im Bewertungsalgorithmus repräsentiert durch das Zutreffen von Schlüsselantworten –, kann das Grundwassergefährdungspotenzial je nach Auftreten und Zusammenwirken der Schlüsselantworten als „besonders hoch“ oder aber als „weniger hoch“ eingestuft werden.

Die Schlüsselantworten wurden gemäß ihres Zusammenwirkens 13 thematisch gefassten Schlüsselantwortgruppen zugeordnet, die jeweils einen für die Einschätzung des von der geplanten Kanalbaumaßnahme ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials besonders bedeutsamen Sachverhalt betrachten. Dadurch wurde der untereinander korrelierenden Aussagebedeutung verschiedener Schlüsselantworten Rechnung getragen. Für jeden dieser Sachverhalte, d.h. jede der Schlüsselantwortgruppen wurde eine eigene Gefährdungs- und Sensibilitätseinschätzung auf Grundlage des Zusammenwir-

kens der zugeordneten Schlüsselantworten durchgeführt. Aus den gruppenspezifischen Gefährdungs- und Sensibilitätseinschätzungen kann über eine zusammenfassende Zuordnungstabelle die Einschätzung des Gesamtgefährdungspotenzials für das Grundwasser erfolgen.

Teil 2 des Arbeitsschrittes 5 umfasste das **Erstellen von Textbausteinen für das abschließende automatisierte Kurzgutachten**. Bei einer späteren Umsetzung des Expertensystems in eine Anwendersoftware soll die auf der Beantwortung der Erhebungsfragen gründende Ausgangs- und Planungssituation sowie die darauf aufbauende Gefährdungseinschätzung einschließlich der Empfehlungen zur Planungsmodifikation in Form eines automatisierten Kurzgutachtens ausgegeben werden.

Die Textbausteine waren in solche zur Beschreibung der Ausgangs- und Planungssituation, in solche zur Beschreibung und Erläuterung der Grundwassergefährdungseinschätzung und solche zur Beschreibung der empfohlenen Planungsmodifikationen zu differenzieren.

Fazit

Die Einschätzung des von einer geplanten Kanalbaumaßnahme in einem Wasserschutzgebiet ausgehenden Gefährdungspotenzials für das Grundwasser mit der Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Modifikation der Planung stellt sich als komplexe und fachübergreifende Thematik dar, bei der zahlreiche miteinander interagierende Betrachtungspunkte hinsichtlich Kanalbauwerk, Maßnahmendurchführung, räumlichem Umfeld und Untergrund als gemeinsames Wirkungsgefüge zu betrachten sind. Hierzu ist eine enge Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen den beteiligten Ingenieuren, Geowissenschaftlern und den zuständigen Behörden erforderlich.

Ziel des Fortsetzungsvorhabens war vor diesem Hintergrund, auf Grundlage der Ergebnisse des vorangegangenen F+E-Projektes Teil 1 ein Expertensystem als methodisches Hilfsinstrument für Anwender unterschiedlicher Fachrichtungen zu erarbeiten, das nachvollziehbare, objektive und fachlich gesicherte sowie wirtschaftlich sinnvolle Entscheidungen mit Bezug auf die Wahl und den Bau des Abwasserableitungssystems im Spannungsfeld zwischen Siedlungsentwässerung und Wassergewinnung erlaubt. Dieses Projektziel wurde erreicht.

Mit Abschluss des Forschungsvorhabens Teil 2 liegt ein Expertensystem vor, das die Vielschichtigkeit der Fragestellung berücksichtigt und als Entscheidungshilfe für die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und die Auswahl des Ableitungssystems dienen kann. Eine detaillierte Projektplanung und Standortabwägung kann und soll durch das Expertensystem nicht ersetzt werden, jedoch kann dieses eine Hilfestellung bei der Abwägung von Trassen- oder Ausführungsalternativen geben und Hinweise zu vorsorglich anzuratenden Sicherungsmaßnahmen oder Planungsmodifikationen formulieren, durch welche die potenzielle Grundwassergefährdung gegebenenfalls

verringert werden kann. Die Anwendung des Expertensystems ist nur dann möglich und zulässig, wenn ausreichende und nach Möglichkeit umfassende Kenntnisse des Nutzers über die einflussnehmenden und im System berücksichtigten Einflusskriterien vorliegen.

Durch die in beiden F+E-Projekten erfolgten Betrachtungen, Analysen und Abwägungen ist es gelungen, ein fachlich abgesichertes Entscheidungshilfesystem zur Ermittlung und Bewertung der Ausgangs- und Planungssituation in einem Wasserschutzgebiet im Hinblick auf die Realisierung eines Abwasserkanals zu erarbeiten. Der im vorliegenden Abschlussbericht in seinem Aufbau und seiner Entstehung dokumentierte und erläuterte Bewertungsalgorithmus stellt das Kernstück und gleichzeitig die umsetzungsfertige Programmierschrift zur Realisierung des Expertensystems in einer Anwendersoftware dar.

Ausblick

Wie bei der Ausarbeitung der verschiedenen Fallbeispiele zur Verifizierung des Bewertungsalgorithmus deutlich wurde, ist eine effektive Nutzung des Expertensystems nur dann gegeben, wenn dieses dem Nutzer in einer Anwendersoftware oder Webapplikation zugänglich gemacht wird.

Zwar liegt das Expertensystem nach Abschluss der beiden F+E-Projekte Teil 1 und 2 vollständig vor, jedoch zeigen die umfangreichen, den Bewertungsalgorithmus aufbauenden Zuordnungstabellen sowie die Erfordernis einer Überprüfung der Beantwortung der Erhebungsfragen auf ihre Plausibilität, dass eine Nutzbarkeit des Expertensystems in Papierform nur eingeschränkt gegeben ist. Sie erfordert ein intensives Beschäftigen des Nutzers mit den theoretischen und fachlichen Grundlagen des Bewertungsalgorithmus und den diesem zugrunde liegenden Bewertungsansätzen und Verknüpfungen, welches sich in der Praxis kaum realisieren lassen wird.

Die entsprechende Umsetzung als Computersoftware wird daher als erforderlicher abschließender Schritt angesehen, um die Forschungsergebnisse der durchgeführten Forschungsvorhaben zielführend in der Praxis nutzen zu können. Dadurch wird es zukünftig vor allem Planungs- und Ingenieurbüros, die auf dem Gebiet der Geologie und Hydrogeologie tätig sind, sowie Genehmigungsbehörden, Zweckverbänden und Kommunen möglich sein, fachlich begründete, trinkwasserhygienisch verträgliche sowie umweltgerechte und kostenminimierende Entscheidungen vorzubereiten, zu begleiten, zu finden und zu beurteilen.

Durch die im vorliegenden Abschlussbericht formulierten Programmierschriften wird eine Softwareumsetzung problemlos möglich. Sie beschränken sich auf die Fassung der bereits formalisiert dargestellten Bausteine des Expertensystems zur Datenerhebung, Datenverknüpfung und Entscheidungsfindung in eine Programmiersprache. Die Abfrage- und Ausgabeform der vom Nutzer anzugebenden und auszuwertenden Informationen zur Ausgangs- und Planungssituation im Wasserschutzgebiet sowie der daraus hervorgehenden

Einschätzungen und Empfehlungen werden im Abschlussbereich bereits angeführt (textlich zusammengefasste Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation sowie abschließende textliche Gefährdungsbewertung mit Empfehlungen zur Planungsmodifikation).

Sollten sich bei der Praxiserprobung des Expertensystems Kalibrierungen des Bewertungsalgorithmus als erforderlich erweisen, sind diese durch die transparente Darstellung des Aufbaus und der Ergebnisfindung des Bewertungsalgorithmus und den verbal-argumentativen Ansatz der Grundwassergefährdungseinschätzung und der Empfehlung von Planungsmodifikationen möglich.