



18. European User Conference  
10. Deutschsprachige Anwenderkonferenz  
08.-10. Oktober 2003 Innsbruck

---

## GRUNDWASSER-ONLINE

### Internet- und GIS-gestützte Grundwasserbewirtschaftung

Dipl.-Ing. Thomas Gutzke  
Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen  
Technische Universität Darmstadt

Dipl.-Ing. Gerrit Seewald  
CIP Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt

Dipl.-Geogr. Manfred Forst  
BGS Umweltplanung GmbH, Darmstadt

**Kurzfassung:** *Mit dem Pilotprojekt „Grundwasser-Online“ ([www.grundwasser-online.de](http://www.grundwasser-online.de)) wird das Ziel einer zeitnahen, unternehmensübergreifenden Steuerung der aktiven Grundwasserbewirtschaftung für eine gesamte Region verfolgt. Im Projektgebiet – dem Hessischen Ried, einem der bedeutendsten Grundwasserreservoirs in Deutschland mit aktiver Bewirtschaftung – kooperieren Wasserversorgungsunternehmen gemeinsam mit dem Regierungspräsidium Darmstadt im Hinblick auf die Einführung eines wasserwirtschaftlichen Informationssystems. Im Projekt werden dazu GIS-gestützte Module zur lokalen, mobilen und internetbasierten Datenerfassung innerhalb der einzelnen Unternehmen sowie für den Datenabgleich zwischen den lokalen Datenbeständen (Oracle, SQL Server) mit einer zentralen Serverdatenbank über protokollbasierte Replikationsmechanismen entwickelt. Der Schutz der Daten wird mittels feingranularer Zugriffsrechte auf allen Ebenen (Mobil, Intra- und Internet) sichergestellt. Sie bilden gleichzeitig die Basis für den freiwilligen Datenaustausch zwischen den Projektpartnern.*

*Mittels eines Kartenservers (ArcIMS) kann auf die zentrale Serverdatenbank (Oracle) georeferenziert zugegriffen werden. Zusatzmodule unterstützen fachliche Auswertungen im Internet mit Diagrammen, Statistiken und Plausibilitätsprüfungen. Entscheidend für die zeitnahe Überwachung und Steuerung der Grundwasserstände durch Infiltration ist die Möglichkeit, flächenhafte Auswertungen (Grundwassergleichen-, Differenzen- oder Flurabstandspläne) im Kartenserver anzustoßen, auszugeben und zu exportieren (Shape, PDF). Lokale (MapObjects) und mobile (Arc-PAD) GIS-Module beschleunigen in Verbindung mit datenbank-basierten Fachschalen die Arbeit im Gelände und innerhalb der einzelnen Unternehmen.*

*Grundwasser-Online als skalierbares System unterstützt die Anwender somit nachhaltig bei der fachgerechten Bewertung und Steuerung der Grundwassersituation. Dies ermöglicht gleichermaßen eine ökonomische wie nachhaltige Nutzung der Ressource „Grundwasser“ im Projektgebiet.*

# 1 Einleitung

Die Entwicklung des Rhein-Main- und des Rhein-Neckar-Gebietes zu großen, industriell-gewerblichen Ballungsräumen beruht unter anderem auf einer ausreichenden Trink- und Brauchwasserversorgung. Das Hessische Ried (Abb. 1), d.h. der Teil der Oberrheinebene zwischen Neckar, Rhein, Main und dem Rand des Odenwaldes (der „Bergstraße“), bietet mit seinen mächtigen Ablagerungen aus Sanden und Kiesen hierfür die besten Voraussetzungen. Es gehört zu den bedeutendsten Grundwasserreservoirs der Bundesrepublik Deutschland.

Starke Schwankungen des Grundwasserspiegels haben in dem ursprünglich stark vernässten Raum („Ried“) wiederholt zu Konflikten geführt. So fiel der Förderbeginn mehrerer großer Wasserwerke im zentralen Teil des Hessischen Riedes Anfang der 70er Jahre mit einer ausgeprägten klimatischen Trockenperiode zusammen, die ihren Höhepunkt 1976/77 erreichte. Die um mehrere Meter gefallen Wasserstände führten auf Moorböden zu Setzrissen an Gebäuden. In Wäldern, die bis dahin einen permanenten Grundwasseranschluss hatten, kam es verstärkt zu Trocknisschäden, Feuchtgebiete trockneten aus. Nach Zwischenhochständen 1983 und 1988, die lokal Kellervernässungen verursachten, entstanden 1991-1993 erneut Schäden durch tiefe Grundwasserstände. 1999-2003 kam es erneut zu massiven Vernässungen.

Der auch bundesweit Mitte der 70er Jahre Aufsehen erregende „Wassernotstand“ in Südhessen hatte in der Folge zwei entscheidende Konsequenzen:

1. 1983 wurde mit dem Bau von Infiltrationsanlagen zur aktiven Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried begonnen. Das Infiltrationswasser wird im Wasserwerk Biebesheim aus dem Rhein entnommen, auf Trinkwasserqualität aufbereitet und im Anströmungsbereich von Brunnengalerien versickert. Dies ermöglicht in weiten Teilen des Hessischen Riedes eine gezielte Beeinflussung der Grundwasserstände, insbesondere in Trockenperioden.
2. Mit dem „Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried“ trat 1999 seitens des Landes Hessen eine verbindliche Rahmenplanung zur Vermeidung von Schäden infolge niedriger Grundwasserstände in Kraft. Der Plan versucht, über die Definition von Zielgrundwasserständen Setzrisse an Gebäuden sowie Schäden an grundwasserabhängigen Wäldern und Feuchtbiotopen bei gleichzeitiger Sicherstellung der Wasserversorgung zu vermeiden [5].

Aus der Sicht der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) führten diese Neuerungen zu erhöhten Anforderungen an die Überwachung der Grundwasserstände. Gleichzeitig stieg der Umfang der behördlichen Auflagen signifikant an. Rohdaten wie Grundwasserstände, Förder- oder Infiltrationsmengen sind ebenso wie Auswertungen (Diagramme, Statistiken, Grundwassergleichen-, Flurabstands- und Differenzenpläne) in monatlichen bis jährlichen Abständen vorzulegen, oftmals in Form umfangreicher aus- und bewerteter Monitoringberichte [3]. Auf Grund der sich weiträumig überlappenden Einflussbereiche der Wasserwerke erfordert dies auch eine verstärkte Zusammenarbeit der Wasserversorgungsunternehmen untereinander, z.B. in Form eines regelmäßigen Austausches von Grundwasserstandsdaten.

Die großen Wasserversorgungsunternehmen im Hessischen Ried haben sich daher in dem Pilotprojekt „Grundwasser-Online“ dazu entschlossen, den kompletten wasserwirtschaftlichen Datenfluss von der Messstelle bis zur Behördenmeldung auf eine neue technologische Ebene zu heben. Das Projekt erfolgt in Kooperation mit dem Regierungspräsidium Darmstadt als zuständiger Behörde.

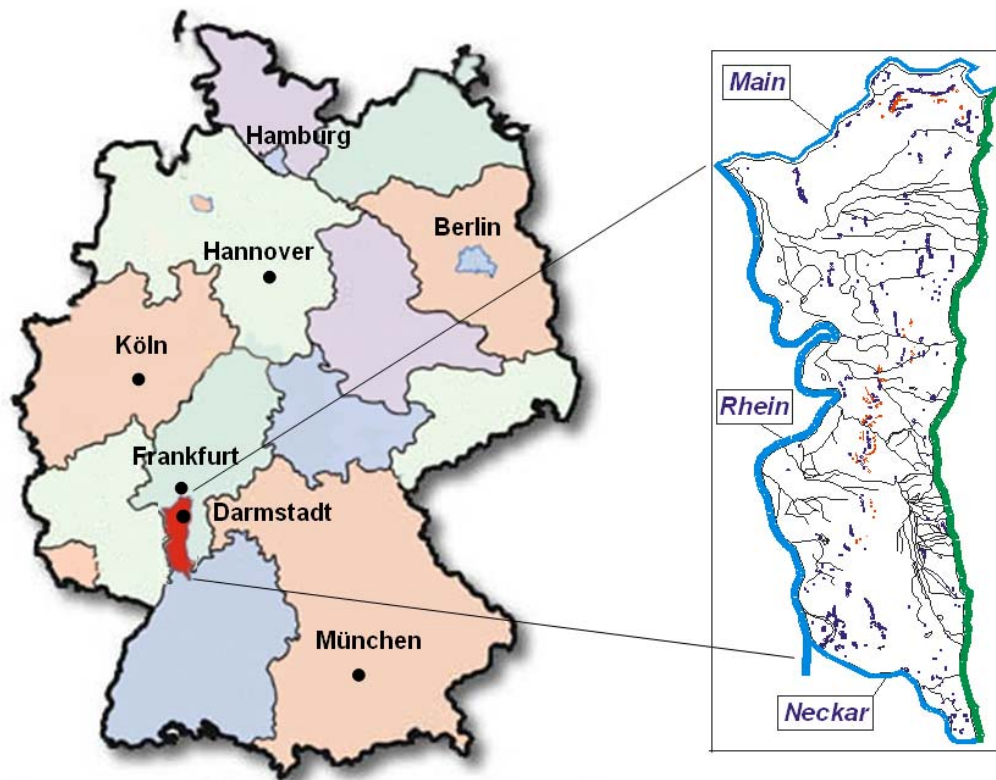


Abb. 1: Das Projektgebiet „Hessisches Ried“

## 2 Projektziele

Ziel von „Grundwasser-Online“ ist die Schaffung einer technologischen Basis zur standardisierten Erfassung, Übermittlung und Auswertung raumbezogener, wasserwirtschaftlicher Daten in einem kooperativen, freiwilligen Netzwerk von eigenständigen WVU und beteiligten Behörden. Dabei wurden zentrale Projektziele definiert:

- Bereitstellung fachgerechter Software-Module zur Erfassung, Verwaltung und Auswertung wasserwirtschaftlicher Daten innerhalb der Unternehmen und über Unternehmens- und räumliche Grenzen hinweg
- Optimierung des unternehmensinternen Datenflusses und -managements durch die Entwicklung eines wasserwirtschaftlichen Informationssystems
- Konsequente Neustrukturierung des Workflows durch eine vollständige Digitalisierung des Datenflusses von der Messstelle bis zum Monitoringbericht bei gleichzeitiger Beachtung der Urheberrechte an den Datengrundlage
- Effizienter Datenaustausch zwischen WVU ↔ WVU und WVU ↔ Behörden
- Unterstützung der Infiltrationssteuerung als Teil der Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried durch die Bereitstellung hochaktueller wasserwirtschaftlicher Daten und die benutzerfreundliche Generierung komplexer Auswertungen wie z.B. von Flurabstandsplänen
- Ablösung der regelmäßig der Behörde in Papierform vorzulegenden Monitoringberichte durch die Bereitstellung digitaler Monitoringberichte

## 3 Systemarchitektur

### 3.1 Rahmenbedingungen

Beim Entwurf der Systemarchitektur mussten entsprechend den Ergebnissen der durchgeführten Analyse vier zentrale Punkte berücksichtigt werden:

1. Die Wasserversorgungsunternehmen sind eigenständige Unternehmen, die sich auf freiwilliger Basis zu einem Austausch ausgewählter Daten untereinander und mit den zuständigen Behörden zusammenfinden. Das System muss daher offen sein für räumliche und institutionelle Veränderungen (z.B. Eintritt oder Ausscheiden von WVU oder Behörden, Fusion von Unternehmen).
2. Die Hoheit über die freigegebenen Daten muss jederzeit gewahrt bleiben, sowohl im Unternehmen selbst (Zugriffsrechte einzelner Personen oder Abteilungen) als auch bezogen auf externe Partner. Ein pauschaler Zugriff aller Projektpartner auf alle Daten darf nicht möglich sein; die Zugriffsrechte müssen vergeben und auch entzogen werden können. Ein Zugriff Dritter (z.B. Ingenieurbüros oder die Öffentlichkeit) soll bei Bedarf zeitlich begrenzt ermöglicht werden können.
3. Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Unternehmen und der noch höheren Zahl von Wasserwerken muss der Datenaustausch auch über normale ISDN-Leitungen möglich sein. DSL- oder Standleitungen sind zwischen den zu integrierenden Standorten nur teilweise vorhanden.
4. Kennzeichnendes Merkmal des Projektes ist mit dem Hessischen Ried der starke Raumbegzug mit seinen hydrogeologischen und infrastrukturellen Randbedingungen.

### 3.2 Module

Unter den genannten Rahmenbedingungen konnten die Projektziele nur durch den Einsatz moderner Datenbank-, Internet- und GIS-Technologien erreicht werden. Das System besteht z.Zt. aus einem lokalen (Intranet) wasserwirtschaftlichem Informationssystem („Basismodul“) und Internet-Modulen wie dem Kartenserver und dem öffentlich zugänglichen Internetportal [www.grundwasser-online.de](http://www.grundwasser-online.de) (Abb. 2).

Die wasserwirtschaftlichen Daten werden in relationalen Datenbanken gespeichert. Das zu Grunde liegende Datenbankschema orientiert sich an der Schnittstellendefinition des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG). Das Schema wurde jedoch für „Grundwasser-Online“ mehrfach erweitert. Als Datenbanksystem werden sowohl Oracle als auch SQL-Server sowie die kostenlose Lösung MSDE von Microsoft unterstützt. Der Zugriff erfolgt dabei datenbankunabhängig über die ADO-Schnittstelle (ActiveX Data Objects).

Der Abgleich der lokalen Datenbanken (z.Zt. >10) mit der zentralen GWO-Datenbank erfolgt über eine auf der Basis von Java selbst entwickelten, datenbankunabhängigen Replikation. Dabei werden die hinzugekommen oder veränderten Daten in einem verschlüsselten XML-Strom über das Internet übermittelt. Im Rahmen der Replikation werden zugleich die feingranularen Zugriffsrechte übertragen, die bis hinunter zum Einzelobjekt (z.B. Grundwassermessstelle) Les- und Schreibrechte definieren. Objekte, die Projektpartnern freigegeben werden, stehen diesen im Internet zur Verfügung. Gleichzeitig werden die Objekte auch von der zentralen GWO-

Datenbank auf die lokale Datenbank des Projektpartners übertragen bzw. dort gelöscht, wenn die Zugriffsrechte entzogen wurden. Dies ermöglicht z.B. Kooperationen von mehreren Unternehmen zur Erfassung räumlich weit gestreuter Grundwassermessstellen.

Der Workflow im Unternehmen, der Datenaustausch zwischen den Projektpartnern und die Steuerung der Infiltration werden durch zahlreiche Funktionen unterstützt. Hierzu zählen unter anderem:

- Mobile Datenerfassung an den Messstellen mit Routenplanung, GPS-Ortung, Barcode-Scanner und Plausibilitätskontrolle (Kap. 4.1)
- Informationsmanagement mit dem Basismodul (Intranet) mit Dateneingabe, Plausibilitätskontrolle, Linien- und Säulengrafik, Statistik-Berichten, Verwaltung der Zugriffsrechte, einem Wizard zur Generierung komplexer Monitoringberichte und dem lokalem GIS-Fenster (Kap. 4.2)
- Datenanalyse im Internet per Kartenserver mit seinen wasserwirtschaftlichen Erweiterungen (Generierung von Grundwassergleichen-, Flurabstands- und Differenzenplänen) sowie dem direkten Zugriff auf die zentrale Datenbank zur Dateneingabe, zur Erstellung von Gangliniengrafiken oder der Generierung von Reports (Kap. 4.3).

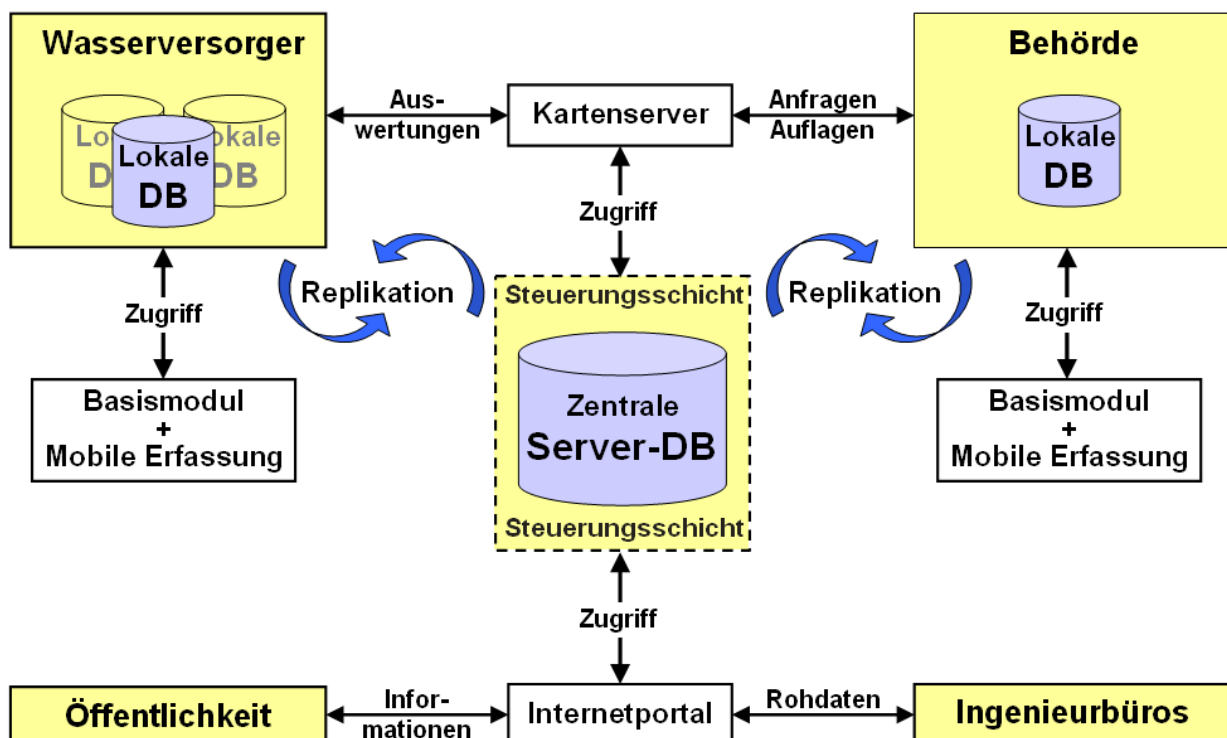


Abb. 2: Systemarchitektur von „Grundwasser-Online“

## 4 GIS-Module und raumbezogene Analysen

Der Datenfluss soll in diesem Kapitel am Beispiel der GIS-Komponenten von „Grundwasser-Online“ verdeutlicht werden. Abbildung 3 verdeutlicht die Integration der GIS-Komponenten in den Datenfluss bei „Grundwasser-Online“.

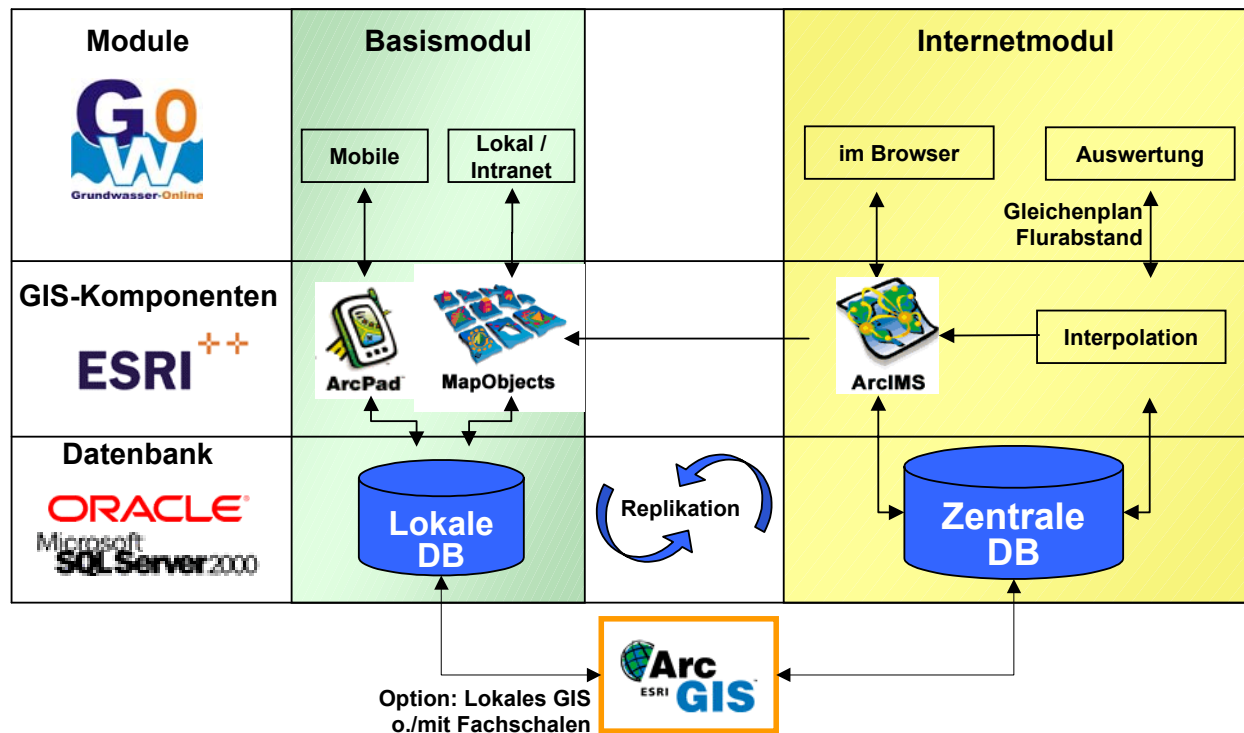


Abb. 3: GIS-Architektur von Grundwasser-Online

### 4.1 Datenerfassung an der Messstelle – Mobile Computing

Im Hessischen Ried werden mehr als 2000 Grundwassermessstellen wöchentlich oder monatlich erfasst. Diese Werte bilden die Grundlage für alle flächenhaften Auswertungen (Kap. 4.2.2) und die effiziente Steuerung der Grundwassersituation. Die Anforderungen an die Aktualität und die Qualität dieser Daten ist daher von großem Interesse.

#### 4.1.1 Analyse der herkömmlichen Datenerfassung

Die Datenerfassung wird in der Regel vom Messstellenbetreiber selbst vorgenommen. Dabei werden die einzelnen Messstellen von den Ablesern angefahren, mit einem Lichtlot der Abstichwert gemessen und dieser manuell auf Papier eingetragen. Die abgelesenen und protokollierten Abstichwerte werden nach Beendigung der Messroute vom Ableser in lokalen Tabellenkalkulationsprogramme bzw. den lokalen Erfassungskomponenten der Wasserwerke digital erfasst und dort ggf. von einem Fachanwender redigiert.

Diese herkömmliche Vorgehensweise der Datenerfassung Vor-Ort beinhaltet verschiedene Fehlerquellen. Da die Messstellen oft abseits von befahrbaren Wegen liegen und durch Pflanzenbewuchs zusätzlich verdeckt werden, gestaltet sich das Auffinden der Messstellen für den Ableser, insbesondere bei Ortskenntnis, teilweise sehr schwierig. Bei der Messung und Er-

fassung der Abstichwerte kommt es häufig zu so genannten Meterfehlern und Zahlendreher. Bei der manuellen Erfassung der Abstichwerte kann es zusätzlich zum Vertauschen von Messstellen kommen. Die gleichen Fehler treten erneut bei der Übertragung der manuell erfassten Werte in die lokale Erfassungskomponente auf.

#### 4.1.2 Konzept

Eine Neuerfassung von fehlerbehafteten Werten ist einerseits mit hohem Zeitaufwand verbunden, andererseits können auf Grund des zeitlichen Verzugs zwischen Erfassung und Redigierung meist keine Kontroll- bzw. Korrekturmessungen durchgeführt werden. Die Folge sind lückenhafte Messreihen, die die Datenqualität signifikant heruntersetzen. Außerhalb des eigentlichen Projektrahmens wurde daher eine mobile Erfassungskomponente entwickelt [7].

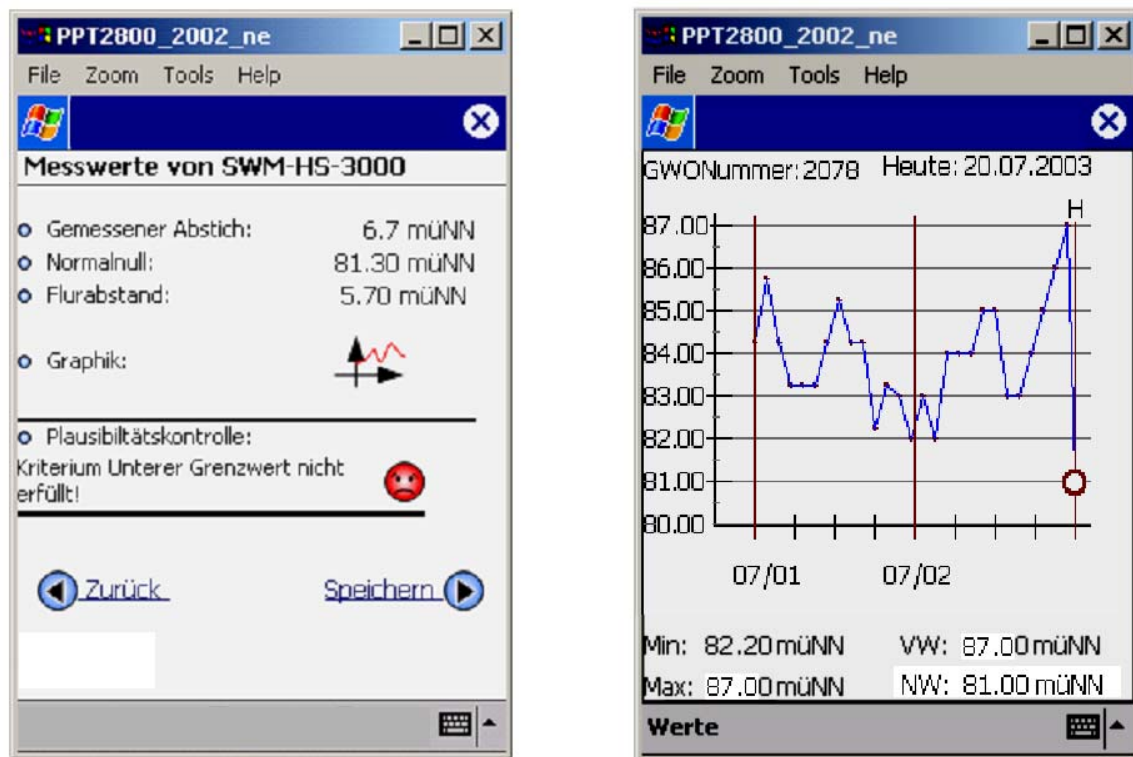
An eine mobile Vor-Ort-Erfassung werden die folgenden Anforderungen an die Endgeräte bzw. die zu entwickelnde Applikation gestellt:

- Definition von Messrouten
- Übertragung der relevanten Daten auf ein mobiles Endgerät
- Auffinden von Messstellen im Feld
- Eindeutige Identifikation von Messstellen
- Einfache Eingabe der gemessenen Abstichwerte
- Arithmetische Vor-Ort-Kontrolle der Abstichwerte
- Generierung von Ganglinien zur visuellen Überprüfung neuer Abstichwerte
- Online-Abfrage von Vor-Ort benötigten Informationen aus der lokalen DB
- Online-Übermittlung der erfassten Daten an die lokale DB
- Synchronisation mit der lokalen Datenbank des Wasserversorgers
- Einmessung und digitale Erfassung von Messstellenkoordinaten
- Kontrolle und Optimierung der Messrouten

#### 4.1.3 Umsetzung

Die Zusammenstellung aller für die mobile Erfassung erforderlichen Daten erfolgt vor der Begehung der Messstellen im lokalen Basismodul. Alle abzufahrenden Messstellen werden gemeinsam mit den für die Plausibilitätskontrolle und die Ganglinienvisualisierung erforderlichen Daten in einem Datenbank-View automatisiert zusammengestellt und auf das Endgerät übertragen.

Die Anwenderunterstützung bei der Auffindung der Messstelle im Rahmen der Begehung befindet sich noch im Aufbau und soll DGPS-gestützt mit Hilfe der mobilen GIS-Lösung ArcPAD von ESRI erfolgen. Über zugrunde liegende Raster- und Vektordaten kann sich der Ableser im Feld orientieren und wird bei Bedarf über die Pathfinder-Funktion zu den entsprechenden Messstellen geführt. Sofern die Messstellenidentifikation mittels GPS vom Ableser aktiviert wurde und sich der Ableser innerhalb eines definierten Bereichs um die Messstelle befindet, wird automatisch die Erfassungskomponente aufgerufen. Gleiches gilt für die bereits implementierte Identifikation mittels Barcodescanner.



**Abb. 4: Snapshots der mobilen Erfassungskomponente**

Die Erfassung des Abstichwertes erfolgt wahlweise über Touchscreen oder Tastatur. Intern wird nach der digitalen Erfassung des Abstichwertes anhand arithmetischer Plausibilitätskriterien überprüft, ob der gemessene und erfasste Wert innerhalb der für diese Messstelle definierten Grenzwerte und Schwankungsbereiche liegt. Als zusätzliche Hilfe zur Beurteilung des abgelesenen Wertes dient eine Diagrammkomponente, die eine Ganglinie auf dem PDA erstellt und so dem Ableser eine visuelle Kontrolle über den Verlauf des Grundwasserstandes bietet (Abb. 4).

Für die Routineablesungen erfolgt die Synchronisation der Daten über die Cradle (einer lokalen Synchronisationsstation). Bei kritischen Grundwassersituationen oder bei aufgetretenen Schadensfällen, bei denen die abgelesenen und verifizierten Werte erfasst und zur Auswertung und weiteren Steuerung der Entnahme- und Infiltrationsanlagen herangezogen werden müssen, kann eine Online-Verbindung aufgebaut und eine sofortige Synchronisation stattfinden. Eine Online-Abfrage von Vor-Ort benötigten Informationen aus der zentralen Wasserwerk-Datenbank ist ebenfalls mit diesem System möglich [9].



## 4.2 Informationsmanagement im Intranet mit lokalem GIS-Fenster

### 4.2.1 Datenerfassung und -verwaltung im Intranet

Neben der mobilen Datenerfassung werden den Anwendern mit dem Basismodul auch intranetbasierte Erfassungs- und Verwaltungskomponenten innerhalb des Gesamtsystems bereitgestellt. Innerhalb dieser Komponenten können alle Grundwasser- und Geoinformationen effizient abgelegt, strukturiert verwaltet und fachgerecht über Diagramm- und Berichtsmodule ausgewertet werden.

Der Zugriff auf die zumeist punktförmig vorliegenden Objektdaten erfolgt dabei in einem neu entwickelten GIS-Fenster. Das Modul wurde auf der Basis von MapObjects LT von ESRI sukzessive erweitert. Es bietet Standard-GIS-Funktionen zur Navigation wie eine Übersichtskarte, eine frei definierbare Layersteuerung im Treeview, Fraktales Zoomen, Selektion von Objekten und Flächen etc. und zur geografischen Auswertung Möglichkeiten der Längen- und Flächenmessung sowie der Pufferbildung. Zusätzlich konnte das Modul um eine automatische Legendengenerierung, eine Zoomhistorie, Tooltips und eine Symbolverwaltung ergänzt werden. Eine georeferenzierte Erfassung und Verwaltung von Flächeninformationen wie sie beispielsweise bei Wasserschutzgebieten erforderlich ist, wird derzeit integriert. Für die Druckausgabe wurde eine Druckvorschau entwickelt, die ein maßstäbliches Drucken eines definierbaren Bereichs bei frei konfigurierbarer Ausgabegröße und -qualität ermöglicht.

Über diese Kartengrundlage werden in erster Linie Objekte selektiert, für die Daten erfasst oder ausgewertet werden sollen. Die Erfassung erfolgt dabei ähnlich strukturiert wie bei der mobilen Erfassung, umfasst jedoch weitaus mehr Messtypen, Plausibilitätskontrollen und fachgerechte Hilfestellungen.

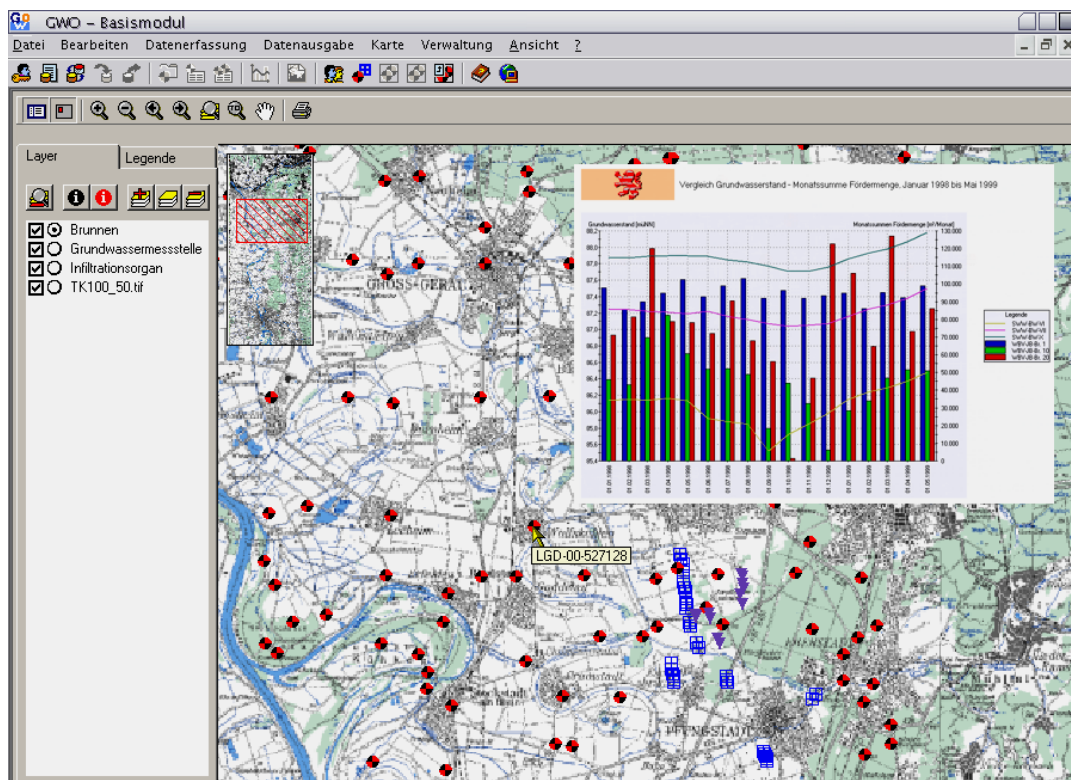


Abb. 5: Snapshot des Basismoduls mit GIS-Fenster und Diagrammauswertung

## 4.2.2 Auswertungsmodule

Einen entscheidenden Mehrwert können die Nutzer zusätzlich aus den bereitgestellten Auswertungsmodulen beziehen [6]. Mit Hilfe des Diagrammoduls können die Verlaufsdaten aller erfassten Objekte und deren Messtypen fachgerecht aufbereitet und visualisiert werden. Hierzu wurde ein Assistent entwickelt, der einerseits eine einfache und schnelle Generierung von Ganglinien-, Balken- und gestapelten Säulendiagrammen ermöglicht, der andererseits aber auch für einen Fachanwender eine Vielzahl an optionalen Erweiterungen wie die Einbindung statistischer Kenngrößen, Verschneidungen und Darstellungsmöglichkeiten bereitstellt. Ähnlich dynamisch lassen sich Statistiken in Form von Berichten über einen Assistenten erstellen. Dabei können Objekte, Messtypen, Zeitintervalle und eine Reihe weiterer Optionen vom Anwender beliebig ausgewählt und zusammengestellt werden. Im Ergebnis wird programmintern ein PDF-Dokument generiert [1], das vom Anwender ausgedruckt oder an andere Abteilungen oder mittels digitaler Signatur auch an externe Unternehmen und Behörden digital übermittelt werden kann.

## 4.3 Datenanalyse im Internet – Kartenserver und zentrale Datenbank

Den Kern des Pilotprojektes „Grundwasser-Online“ bildet die Erstellung einer ganzheitlichen Lösung für die Erfassung, Verwaltung, Auswertung und Visualisierung wasserwirtschaftlicher Daten auch über geografische, politische und unternehmensbezogene Grenzen hinweg. Da sich erst durch die Zusammenführung aller verteilt vorliegenden Datenbestände eine vollständige und fachgerechte Datenanalyse über ein wasserwirtschaftlich zusammenhängendes Projektgebiet realisieren und ein gezieltes Monitoring erreichen lässt, ist die Implementierung eines internetbasierten Informationsportals unabdingbar.

### 4.3.1 Datenabgleich über trigger- und protokollbasierte Replikationsmechanismen

Vorraussetzung für die Datenanalyse im Internet ist die Zusammenführung aller Teildatenbestände in einem zentralen Datenpool, der wiederum mittels geeigneter Internettechnologie von überall erreichbar sein muss. Die lokal erfassten Datenbestände werden in heterogenen Datenbanksystemen innerhalb der einzelnen WVU erfasst und verwaltet. Dabei werden derzeit Oracle 8i/9i sowie SQL-Server 2000 von Microsoft eingesetzt, wodurch sich die Anforderung ergab, unterschiedliche Datenbanksysteme zusammenzuführen und abzugleichen.

Für diesen Datenabgleich zwischen den dezentral vorliegenden, lokalen Datenbanken und der zentralen Serverdatenbank, ist neben der Grundvoraussetzung eines einheitlichen Datenbankschemas erforderlich, dass geeignete Replikationsmechanismen und Konfliktmanagementkomponenten eingesetzt werden. Da es sich bei den unterstützten Datenbanksystemen um unterschiedliche Produkte von verschiedenen Herstellern handelt und zudem eine Erweiterung auf zusätzliche Datenbanksysteme (IBM DB2, Informix, SAP DB) möglich bleiben sollte, können die datenbankinternen Mechanismen nicht genutzt werden.

Replikation bezeichnet einen Prozess, der es ermöglicht, eine definierte Menge von Daten an mehr als einem Ort vorzuhalten. In unserem Fall bedeutet dies, dass auftretende Änderungen beispielsweise in einem Wasserwerk an den zentralen Server und an alle anderen Wasserwerke, die mit diesen neuen bzw. veränderten Daten arbeiten, propagiert werden. Die Synchronisation muss hierzu in beide Richtungen stattfinden können. Bei dem Replikationszeitpunkt wurde eine asynchrone Replikation (lazy replication) gewählt, die Änderungen erst zu einem frei defi-

nierbaren Zeitpunkt an die übrigen Replikate übermittelt, so dass eine ständige Online-Verbindung nicht erforderlich ist. Zur Konsistenzerhaltung wurde ein optimistisches Verfahren verwendet, das einen Vollzugriff auf die einzelnen Replikate erlaubt, wobei temporäre Inkonsistenzen bewusst in Kauf genommen werden. Alle innerhalb der verschiedenen Replikate vorgenommenen Änderungen werden über Datenbanktrigger mitprotokolliert und in einem XML-Dokument abgelegt. Während des Replikationsvorgangs wird das Protokoll des lokalen Replikates mit dem des Servers abgeglichen. Bei Inkonsistenzen tritt ein Konfliktmanagement in Kraft, welches von einem berechtigten Mitarbeiter eines Wasserversorgungsunternehmens gelöst werden kann [8].

#### **4.3.3 Webbasierte Erfassung**

Neben einem Modul zur lokalen Datenerfassung ermöglicht „Grundwasser-Online“ auch die Erfassung der anfallenden Daten über eine ortsunabhängige, browsergestützte Umgebung. Auf diese Weise können z.B. externe oder freie Mitarbeiter Daten wie die Grundwasserstände einfach per Browser in die zentrale GWO-Datenbank einspeisen. Über die Replikation werden diese neuen Daten schließlich in die entsprechenden lokalen Unternehmensdatenbanken übertragen.

Für die Umsetzung des Moduls zur webbasierten Datenerfassung fiel die Wahl auf Active Server Pages (ASP), die einen relativ schnellen, internetbasierten Zugriff auf alle vorhandenen Datenbestände ermöglichen und dabei ein Höchstmaß an Flexibilität bei der Gestaltung der Oberflächen bieten.

#### **4.3.4 Flächenhafte Auswertung und Visualisierung**

Neben diesem direkten Zugriff auf die zentrale GWO-Datenbank wurde schon zu Beginn des Projektes der Einsatz eines Internet-Kartenserver favorisiert. Nur so schien ein schneller und räumlich gezielter Zugriff bei der hohen Objektzahl möglich. Nach einer intensiven Analyse fiel die Wahl schließlich auf den ArcIMS von ESRI. Entscheidende Kriterien hierfür waren u.a. der Funktionsumfang und die weite Verbreitung von ESRI-Produkten in den hessischen und bundesdeutschen Umweltverwaltungen sowie bei den Fachplanungen zu Wasserrahmenrichtlinie.

Vergleichbar dem lokalen GIS-Fenster des Basismoduls (Kap. 4.2) erlaubt der ArcIMS zunächst die üblichen Viewer-Funktionen wie Zoom, Pan, Suchen und Selektieren [2]. Über eine erweiterte Selektion wurde z.B. der Zugriff auf das webbasierte Erfassungsmodul (ASP) mit Hilfe des ArcIMS realisiert. Mittels täglich automatisiert aus der GWO-Datenbank heraus generierter Shape-Files werden die vorhandenen Messstellen und Brunnen angezeigt und der Zugriff auf die Datenbankobjekte gesteuert.

Die im ArcIMS integrierten einfachen GIS-Werkzeuge wie z.B. die Pufferbildung oder die Entfernungsmessung erlauben bereits erste fachliche Analysen im Internet. Fragen wie „Welche Grundwassermessstellen liegen im Umkreis von 300 m um einen Schadensfall?“ oder „Welche Gemeinden sind betroffen?“ lassen sich schnell beantworten. Mit dem Einsatz weiterer geeigneter Geobasisdaten wie z.B. Natur- und Wasserschutzgebiete oder Luftbildern kann der Kartenserver zum wasserwirtschaftlichen Informationsportal ausgebaut werden.

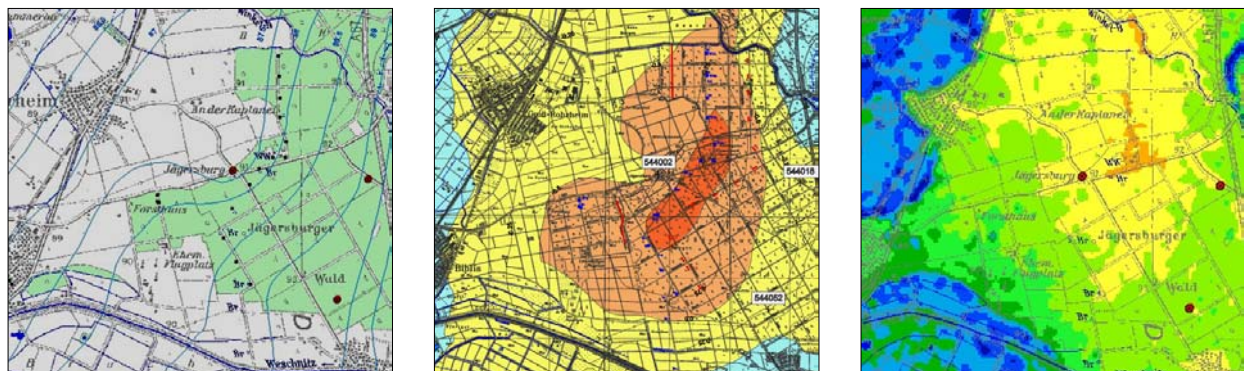
Das entscheidende Werkzeug für die Steuerung der Grundwasserstände mittels der Grundwasserinfiltration stellt jedoch die zeitnahe flächenhafte Auswertung der Grundwasserstände auf

einer unternehmensübergreifenden, möglichst vollständigen Datenbasis aller Messstellen dar. In der Praxis stellen sich z.B. folgende Fragen: „Auf welchem Niveau liegt aktuell der Grundwasserstand? Wie stark ist der Grundwasserstand im letzten Monat gesunken? Drohen im Umfeld der Infiltrationsanlagen Vernässungen? Wo werden die Richtwerte des Grundwasserbewirtschaftungsplanes Hessisches Ried unterschritten?“ Hierzu sind die Erstellung von Grundwassergleichenplänen (Isolinienplan der Grundwasserstände) sowie die Berechnung von Grundwasserflurabständen (Abstand des Grundwassers zur Geländeoberfläche) und Differenzenplänen zweier zeitlich getrennter Grundwasseroberflächen erforderlich.

Der ArcIMS wurde daher in „Grundwasser-Online“ durch die Anbindung eigener und externer Module um echte GIS-Funktionen wie die Interpolation von Punktdaten auf die Fläche und die Berechnung von Differenzen zweier (Raster-) Oberflächen erweitert.

Über den Kartenserver steht dem Anwender die Möglichkeit zur Verfügung, Gebiete frei zu selektieren, über welche er Auswertungsergebnisse benötigt. Ein Wizard bietet im Anschluss zahlreiche Einstellungsoptionen an. Schon zu diesem Zeitpunkt werden die feingranularen Zugriffsrechte überprüft. Sind ausreichende Rechte vorhanden, so stehen dem Anwender die folgenden Auswertungen zur Auswahl:

- Interpolation von Punktdaten in der Fläche (Grundwassergleichenplan)
- Verschneidung der Grundwasseroberfläche mit dem digitalen Geländemodell zur Erzeugung eines Flurabstandsplan
- Vergleich von zwei Grundwassergleichplänen (Differenzenplan)
- Differenz der Grundwasseroberfläche zu den Richtwerten des amtlichen Grundwasserbewirtschaftungsplanes (Kap. 1)



**Abb. 6: Grundwassergleichen-, Differenzen und Flurabstandsplan**

Die Interpolation und Generierung dieser Pläne erfolgt mit Hilfe eines gesonderten Applikationsservers, wobei für die Generierung eines klassifizierten Flurabstandsplans momentan nur 1-4 Minuten benötigt werden. Die Ergebnisse werden nach der Generierung in Form von Pixelgrafiken an den Kartenserver zurückübermittelt und stehen damit dem Anwender zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

Durch eine erweiterte Druckfunktion des ArcIMS können diese und andere Kartendarstellungen in einer Auflösung von 300 DPI und einer Papiergröße von bis zu DIN A3+ mit Planstempel und Legende maßstabsgetreu ausgedruckt werden.

Um die Weiterverarbeitung der Ergebnisse im lokalen GIS-Fenster oder im Desktop-GIS, z.B. für komplexere Darstellungen, den Druck großformatiger Karten oder die Archivierung zu ermöglichen, können diese im Shape-Format heruntergeladen oder als PDF-Dokument exportiert werden.

In „Grundwasser-Online“ wurde der ArcIMS in Verbindung mit dem ASP-gestützten Datenbankzugriff und den angebotenen Zusatzmodulen zu einem wasserwirtschaftlichen Auskunfts- und Analysearbeitsplatz erweitert.

## 5 Fazit und Ausblick

Das in diesem Beitrag vorgestellte Pilotprojekt "Grundwasser-Online" und seinen Komponenten zur digitalen Erfassung, Verwaltung, Auswertung und Visualisierung ermöglichen eine vollständige Neuorganisation des wasserwirtschaftlichen Datenflusses für eine ganze Region (entsprechend den EU-Wasserrahmenrichtlinien).

Das modulare Gesamtsystem kann dabei individuell auf die Anforderungen der jeweiligen Infrastruktur angepasst werden. Die außerhalb des GWO-Projekts entwickelten mobilen und lokalen Komponenten mit GIS-Integration reichen i.d.R. aus, um unternehmensintern alle relevanten, wasserwirtschaftlichen Aspekte digital zu erfassen und weiter zu bearbeiten. Dabei helfen insbesondere die verschiedenen Auswertungsmodule Ressourcen einzusparen und die Auswertungsqualität signifikant zu erhöhen.

Eine unternehmensübergreifende Überwachung und Steuerung ist jedoch erst durch den innerhalb des Pilotprojekts konzipierten und umgesetzten Ansatzes der dezentralen Datenerfassung und dem Datenaustausch über selbstentwickelte, trigger- und protokollbasierte Replikationsmechanismen mit einer zentralen Serverdatenbank möglich. Auf Basis dieses vollständigen, einheitlichen und aktuellen Datenbestandes können georeferenzierte Datenzugriffe über den ArcIMS erfolgen und fachgerechte, flächenhafte Auswertungen über das Internet angestoßen, visualisiert und innerhalb einer Workflowkomponente weiterverarbeitet werden.

Das gesamte System wird derzeit bei den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen und Behörden eingeführt. Die vollständige Abwicklung der Datenverwaltung über dieses System wird ab dem Frühjahr 2004 erfolgen. Parallel werden derzeit diverse Weiterentwicklungen vorangetrieben. Dazu gehört systemintern der Umstieg des georeferenzierten Datenzugriffs vom Shape-Format auf ArcSDE. Das Potenzial der einzelnen GIS-Module (ArcPad, MapObjects und ArcIMS) soll konsequent ausgenutzt und miteinander verknüpft werden.

Ein weiteres Ziel auf dem Weg zu einem vollständig GIS-gestützten wasserwirtschaftlichen Informationssystem bleibt die Entwicklung von Fachschalen auf Basis von ArcGIS 8.x, beispielsweise zur Verwaltung von Wasserschutzgebieten und zur Generierung von flächenhaften Auswertungen im Intranet.

Der Projektfortschritt kann auf dem öffentlichen Bereich des Internetportals [www.grundwasser-online.de](http://www.grundwasser-online.de) jederzeit eingesehen werden.

## Literatur

- [1] Apache: FOP – The Apache XML-Project. <http://xml.apache.org/fop/index.html>.
- [2] Diekmann, F.: Webmapping (Teil I): Kartenpräsentation im World Wide Web. In: Geographische Rundschau 3/00. 2000.
- [3] Gerdes, H.: Regionales Grundwassermonitoring und Steuerungsmanagement. WRM - Workshop. Wiesbaden 1998.
- [4] Gutzke, T., Seewald, G., Petersen, M.: Webbasierte Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Grundwasser-Fachinformationen, in: Bilek, J.: 14. Forum Bauinformatik, Fortschritt-Bericht VDI, Bochum 2002.
- [5] Regierungspräsidium Darmstadt: Grundwasserbewirtschaftungsplan - Hessisches Ried. Darmstadt 1999.
- [6] Rüppel, U., Meißner, U. F., Gutzke, T., Diaz, J., Seewald, G.: An Internet-based Groundwater Information System. In: Proceedings of the 14th International Conference on Computational Methods in Water Resources (CMWR XIV). Delft 2002.
- [7] Rüppel, U., Meissner, I., Gutzke, T., Seewald, G.: Mobile Computing in der Grundwasserbewirtschaftung. IKM. Weimar 2003.
- [8] Rüppel, U., Gutzke, T., Seewald, G.: Triggerbasierte Replikationsmechanismen zum Austausch von Grundwasserinformationen in heterogenen Datenbankumgebungen. Workshop Umweltdatenbanken. Berlin 2003.
- [9] Signalkontor: XD Programmers Guide. <http://www.signalkontor.com>, Hamburg 2003.