

Triggerbasierte Replikationsmechanismen zum Austausch von Grundwasserinformationen in heterogenen Datenbankumgebungen

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Dipl.-Ing. Thomas Gutzke

Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen,
Technische Universität Darmstadt

Dr.-Ing. Michael Petersen

Dipl.-Ing. Gerrit Seewald

CIP - Computer Integrierte Planung - Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt

Abstract

Das Pilotprojekt "Grundwasser-Online" verfolgt das Ziel einer zeitnahen, unternehmensübergreifenden Grundwassersteuerung. Im Projektgebiet – dem Hessischen Ried – kooperieren zu diesem Zweck sechs große ansässige Wasserversorgungsunternehmen (WVU) gemeinsam mit dem Regierungspräsidium in Darmstadt. Das von der TU Darmstadt und den Büros CIP Ingenieures. mbH und BGS Umweltplanung GmbH initiierte und geleitete Projekt umfasst dabei Module zur vernetzten Datenerfassung innerhalb der einzelnen Unternehmen sowie den Abgleich dieser lokalen Datenbestände mit einer zentralen Serverdatenbank über trigger- und protokollbasierte Replikationsmechanismen. Über feingranulare Zugriffsrechte sind berechtigte Personen in der Lage, über das Internet und ohne räumliche oder zeitliche Einschränkungen auf diesen unternehmensübergreifenden Datenbestand zuzugreifen. Zur Auswertung dieser Daten werden internetbasierte Aufbereitungs- und Visualisierungsmodule zur Verfügung gestellt, die den Anwender bei der Bewertung und Steuerung der Grundwassersituation fachgerecht unterstützen.

1 Einführung in das Pilotprojekt "Grundwasser-Online"

1.1 Beschreibung des Projektgebiets

Das Hessische Ried ist eines von Deutschlands größten und zugleich hydrogeologisch kritischsten Grundwasserreservoirs. Bei dem Projektgebiet handelt es sich um den nördlichen Teil des Rheingrabens, dem Oberrheingraben. In dieser Region leben ca.

800.000 Menschen auf einer Fläche von 1238 km² [Abb. 1]. Das Gebiet liegt zwischen den dichten Besiedlungsräumen der Rhein-Main- und der Rhein-Neckar-Region und wird durch die hydrogeologischen Grenzen des Mains im Norden, des Neckars im Süden, des Rheins im Westen und des Odenwalds, der als natürliche Wasserscheide fungiert, im Osten begrenzt.

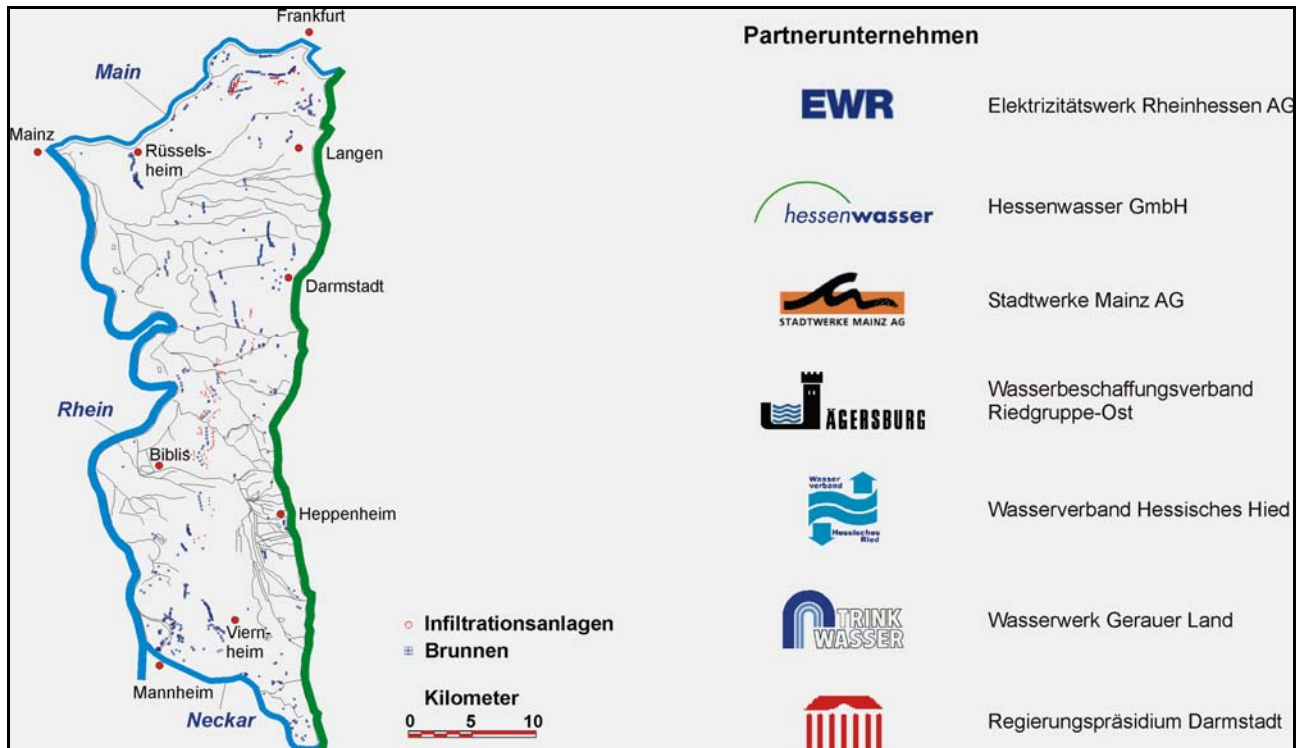


Abb. 1: Projektgebiet "Hessisches Ried"

1.2 Ausgangssituation

In Folge stark schwankender Grundwasserstände in den vergangenen Jahrzehnten [Abb. 2] kam es in vielen Bereichen des Hessischen Rieds zu Setzungs- aber auch zu Vernässungsschäden. Die Möglichkeiten der Behörden und der Wasserversorger, auf die Grundwassersituation steuernd Einfluss zu nehmen, waren und sind auf Grund des komplexen hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Zusammenspiels, der großen Anzahl an beteiligten Unternehmen und nicht zuletzt der inhomogenen und inkonsistenten Datengrundlage und der zeitverzögerten Datenweiterleitung stark eingeschränkt [5].

Der derzeitige Informationsfluss zwischen Wasserwerken und Behörden umfasst vom Zeitpunkt der Erfassung von Grundwassermessständen im Feld, über die Eingabe der Daten in die lokalen Verwaltungsapplikationen der einzelnen WVU, bis zur internen Auswertung und Weiterleitung an die zuständigen Überwachungsbehörden im Schnitt eine Dauer von drei bis sechs Monate. Das Regierungspräsidium als Genehmigungs- und Überwachungsbehörde ist bestrebt, frühzeitig auf aktuelle Entwicklungen reagieren zu können. Die Einflussnahme auf die Grundwasserstandsentwicklung ist von der Natur der Sache her allerdings eingeschränkt und erfordert langwierige Maßnahmen. Im Hessischen

Ried erfolgt dies z.B. über die Erhöhung oder Absenkung der Einleitungsmengen in den Grundwasserleiter über die vorhandenen und zum Teil noch in Planung befindlichen Rheinwasseraufbereitungs- und Infiltrationsanlage.

Die Datengrundlage des Regierungspräsidiums besteht aus den in regelmäßigen Intervallen von den WVU zu erstellenden Monitoringberichten in Papierform. Eine raum- und zeitübergreifende Suche sowie die Aus- und Bewertung der Grundwassersituation auf dieser Datengrundlage ist zeitaufwendig und komplex.

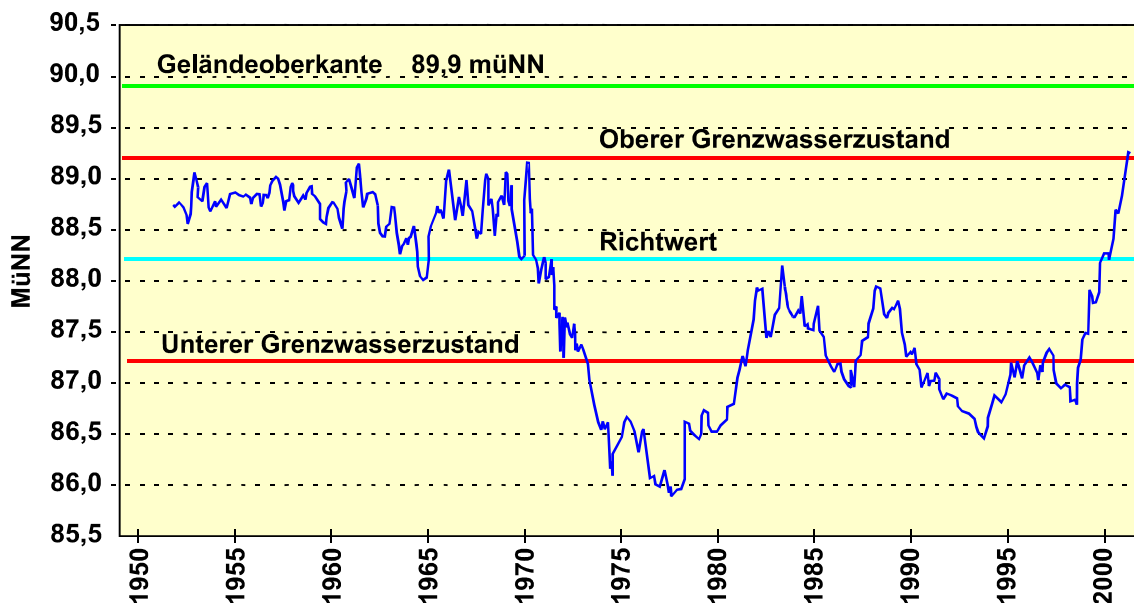


Abb. 2: Charakteristische Grundwasserentwicklung (1950 bis 2003)

1.3 Projektziele

Ein zentrales Ziel des Pilotprojekts Grundwasser-Online ist es, die anfallenden Rohdaten bei den WVU aber auch den Behörden vor Ort fachgerecht und in einem einheitlichen Format zu erfassen, um in einem zweiten Schritt diese dezentralen Datenbestände in einen gemeinsamen, zentralen Datenpool zu überführen. Um diese Informationen wiederum unternehmensübergreifend den berechtigten Fachplanern zeitnah und ortsunabhängig zur Verfügung zu stellen, werden geeignete internetbasierte Technologien eingesetzt. Zur Analyse und Bewertung der vorliegenden Grundwasserinformationen werden den dazu berechtigten Anwendern geeignete Werkzeuge zur Verfügung gestellt.

Neben der Verbesserung der Workflowprozesse zwischen den beteiligten Unternehmen und Behörden werden auch die internen Firmenstrukturen sowie die Arbeitsabläufe neu strukturiert und somit deren Effizienz gesteigert. Dies wird durch den Wegfall von manuellen Datenaufbereitungen und -übergaben, sowohl firmenintern als auch unternehmensübergreifend, erreicht. Hierdurch lassen sich Arbeitszeitaufwände und damit Kosten

für alle beteiligten Unternehmen - bei gleichzeitig qualitativ veredelter Datengrundlage - reduzieren.

Auf Grund der seit Jahrzehnten kritischen Grundwassersituation hat die betroffene Öffentlichkeit großes Interesse an aktuellen Grundwasserständen und spezifischen Hintergrundinformationen. Der Öffentlichkeit soll über ein frei zugängliches Internetportal ein benutzerfreundlicher Zugang bereitgestellt werden, um durch ein weitreichendes Informationsangebot ein umfassenderes Verständnis der einzelnen Zusammenhänge zu erhalten [1].

2 Systemarchitektur

Aufbauend auf den zu Beginn des Pilotprojekts analysierten, heterogenen Firmenstrukturen und den durch geografische Randbedingungen sehr unterschiedlichen Internetanbindungen, ergab sich die Notwendigkeit, ein kombiniertes Online-/Offline-System zu konzipieren [Abb. 3].

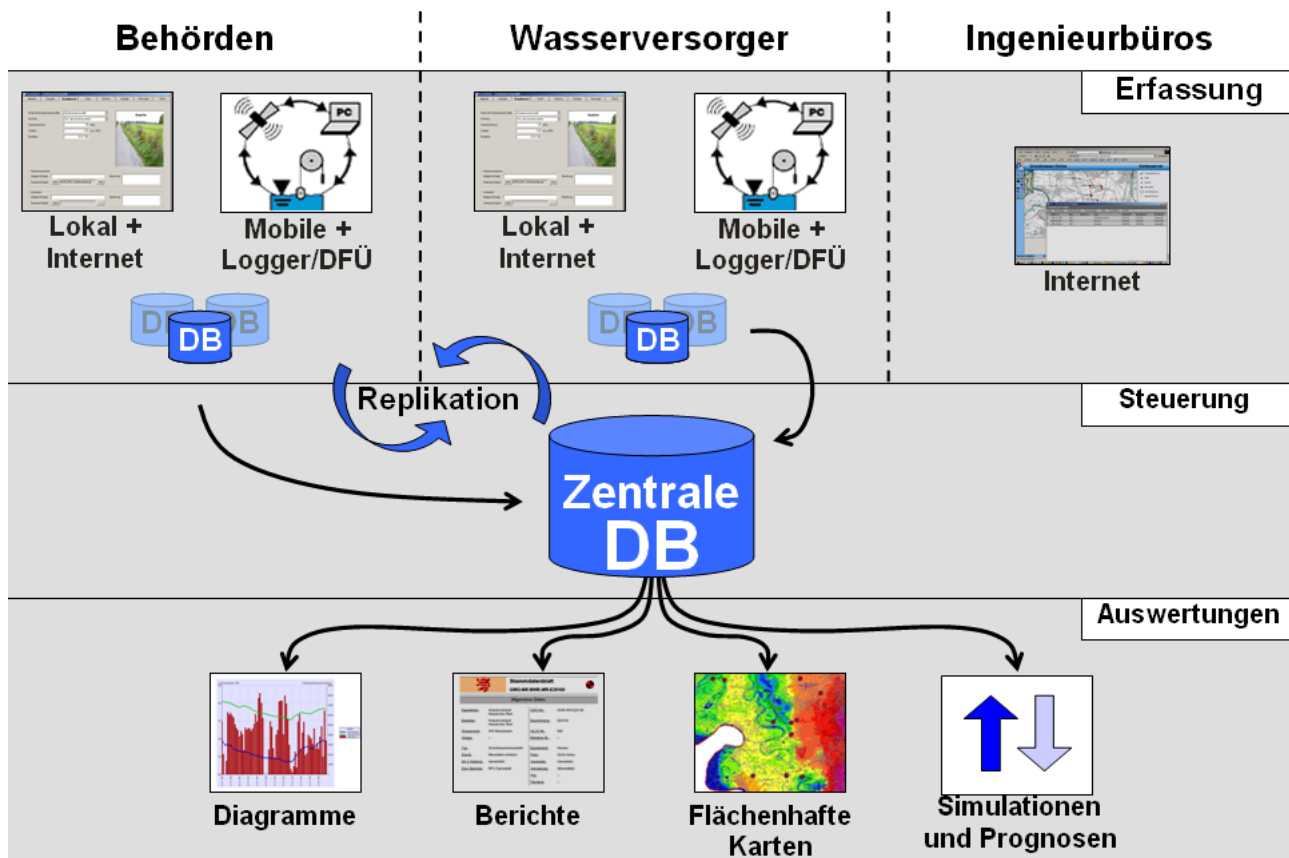


Abb. 3: Systemarchitektur von Grundwasser-Online

2.1 Lokale, mobile und internetbasierte Datenerfassung

Die Erfassung der Grundwasserdaten sowie die firmeninterne Weiterverarbeitung erfolgt dabei in der Regel über bereitgestellte, lokale Eingabemodule. Dabei werden die Daten in eine im Intranet des jeweiligen Unternehmens aufgesetzte, lokale Datenbank abgelegt.

Die Datenerfassung kann bei Bedarf auch über Mobile Endgeräte erfolgen, über die Grundwasserstandsdaten direkt im Feld erfasst, auf Plausibilität überprüft und in die lokale Datenbank eingespeist werden können. Die Integration von Datenloggern mit eingebauter DFÜ-Schnittstelle wird derzeit geprüft. Um bei der Dateneingabe nicht auf einen Arbeitsplatzrechner mit der installierten Software angewiesen zu sein, werden zusätzlich Active Server Pages (ASP) bereitgestellt, die eine zeitnahe und räumlich flexible Erfassung sicherstellen. Insbesondere bei den ehrenamtlich tätigen Ablesern des Landesgrundwasserdienstes kann dies zu deutlichen Erleichterungen bei der Datenweitergabe führen. Diese Daten werden dann direkt in der zentralen Serverdatenbank gespeichert.

2.2 Zugangsberechtigungen

Bei den Grundwasserständen, Förder- und Infiltrationsmengen handelt es sich zum Teil um Inhalte, die vor Zugriffen Dritter zu schützen sind. Über feingranular definierbare Zugriffsberechtigungen können administrativ tätige Personen eines Wasserwerks einerseits die firmeninternen aber auch die Berechtigungen an externe Unternehmen erteilen. Die Vergabe der Zugriffsrechte basiert auf einem Mehrstuflensystem:

Auf der obersten Stufe wird durch den Systemadministrator von Grundwasser-Online für jedes beteiligte Unternehmen eine eigene Betreiber-Administratorgruppe angelegt. Diese Betreiber-Administratorgruppe ist wiederum berechtigt, die Abbildung der firmeninternen Strukturen vorzunehmen, indem sie alle erforderlichen, internen Benutzergruppen anlegt und die entsprechenden Mitarbeiter diesen Gruppen zuordnet. Beim Anlegen der einzelnen Gruppen werden diesen Gruppen sogenannte Basisrechte zugewiesen. Basisrechte definieren beispielsweise, welche Funktionen die Personen einer Gruppe besitzen, d.h. ob sie nur Daten eingeben können, die verschiedenen Auswertungsmodul aufrufen dürfen. Weiterhin wird über diese Basisrechte definiert, welche Rechte eine Gruppe auf die einzelnen Objekte (Brunnen, Grundwassermessstellen etc.) erhält, die ein Unternehmen besitzt. Getrennt für Stamm- und Verlaufsdaten können Rechte gänzlich verwehrt, nur lesende Rechte eingeräumt oder aber volle Zugriffsrechte, d.h. Bearbeitungsrechte erteilt werden.

In einem dritten Schritt können die erteilten Objektrechte individuell für jede Gruppe angepasst werden. Hierdurch wird erreicht, dass für jede Gruppe definiert werden kann, auf welches Objekt welche Rechte bestehen.

Ein Betreiber-Administrator kann die bereitgestellten Funktionalitäten der individuellen Rechtezuweisung auch nutzen, um eigene Objekte gezielt an externe Unternehmen freizugeben. Hierfür selektiert er die für ein externes Unternehmen relevanten und aus seiner Sicht unkritischen Objekte und erteilt die entsprechenden Zugriffsberechtigungen

(kein Zugriff, nur Lesezugriff, Vollzugriff) getrennt für die Stamm- und Verlaufsdaten. Auf diese Weise können beispielsweise der Überwachungsbehörde ausgewählte Brunnen, Infiltrationsanlagen und Grundwassermessstellen freigegeben werden, so dass diese sich jederzeit über die aktuelle Grundwassersituation informieren kann.

2.3 Auswertungsmodule

Gekoppelt an die Basis- und Objektrechte werden sowohl über das lokale als auch über die bereitgestellten Internetmodule verschiedene Aufbereitungs-, Auswertungs- und Visualisierungsmodule zur Verfügung gestellt.

2.3.1 Dynamische Berichtsgenerierung mittels XML und XSL

Die Berichtsgenerierung ermöglicht es unabhängig vom jeweiligen Betreiber, die vorhandenen Datenbestände für die jeweils zuständigen Sachbearbeiter zeitnah und somit aktuell auszugeben. Die Aufbereitung der Daten erfolgt dabei unter Verwendung der Extensible Markup Language (XML), die eine systematische und anwendungs-unabhängigen Strukturierung ermöglicht und mit Hilfe entsprechender Layout-Schablonen (Extended Stylesheets) diese Daten in der jeweils gewünschten Form darstellen kann. Die Ausgabe von Berichten erfolgt im PDF-Format (Portable Document Format) von Adobe, einem offenen Standard für die Verbreitung von elektronischen Dokumenten, der einen einheitlichen Ausdruck ermöglicht.

2.3.2 Grafische Auswertungen

Das Diagrammmodul ermöglicht dem Anwender, die zeitlichen Verläufe von punktuellen Grundwasserinformationen zu visualisieren. Dabei können beispielsweise Ganglinien von Grundwasserständen oder auch Fördermengen von Brunnen oder Infiltrationsanlagen dynamisch aus der Datenbank abgefragt und dargestellt werden. Dem Anwender werden im Programm unterstützende Assistenten angeboten, über die er seine situations-bezogenen Anforderungen definieren kann. Hierzu zählen auch statistische Größen, wie Maxima und Minima, Trends in Form von Regressionsgraden oder auch Standardabweichungen, die eine fachgerechte Bewertungsgrundlage darstellen.

2.3.3 Internetbasierte, flächenhafte Auswertungen

Um räumliche Zusammenhänge zu visualisieren, werden in der Praxis flächenhaft ausgewertete Karten als Grundwassergleichenpläne (GGP), Differenzenpläne (DP) oder Flurabstandspläne (FAP) erstellt [Abb. 4]. Über einen internettauglichen Kartenserver-Dienst ist es möglich, das relevante Gebiet frei zu selektieren sowie die Darstellungsart der Karte und das bei der Berechnung zu berücksichtigende Zeitintervall anzugeben.

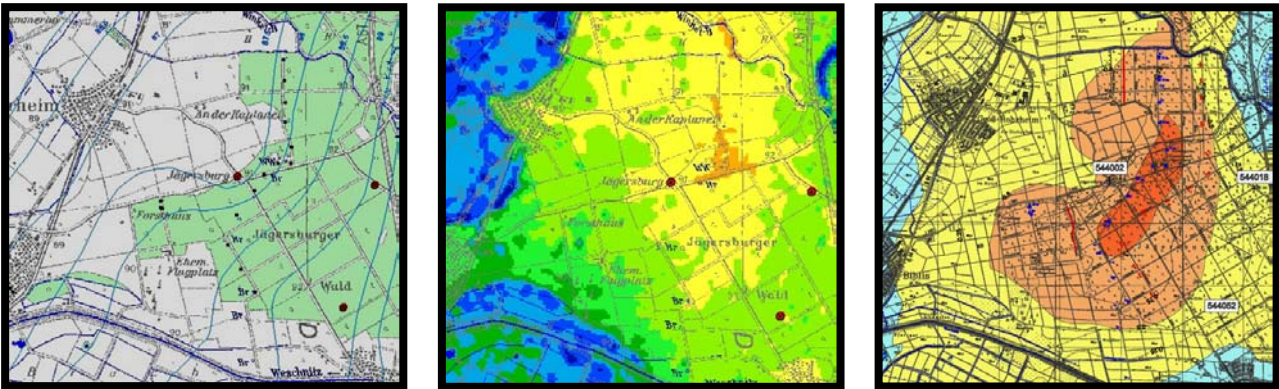


Abb. 4: Grundwassergleichen-, Flurabstands- und Differenzenplan

3 Replikation der Datenbestände

3.1 Relationales Datenbankmodell

Das zugrunde liegende relationale Datenbankmodell basiert im Wesentlichen auf der Schnittstellendefinition [3] des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG). Für die Erfassung der Bohrprofile wurde die SEP3-Schnittstelle [4] des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFB) verwendet. Diese beinhaltet alle Informationen zu Bohrprofilen und Schichtverzeichnissen nach DIN 4022 und DIN 4023. Auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen, die durch die beteiligten Unternehmen vorgegeben wurden, sind diese Datenbankschnittstellen sukzessive erweitert worden.

Das existierende Datenbankmodell unterteilt sich in unterschiedliche Teilbereiche:

1. Unternehmensinterne Strukturen
 - Betreiber, Wasserwerke, Anlagen
2. Objekttypen mit dazugehörigen Stammdaten
 - Brunnen, Infiltrationsorgan, Quellen, Bohrprofile, Grundwasser-, Gewässer- und Klimamessstellen
 - Gauß-Krüger-/Lage-Koordinaten, Gelände- / Messpunkthöhen, Detaildaten
3. Bohrprofile (SEP3-Schnittstelle)
 - Verfilterung, Ausbau, Schichtenverzeichnis
4. Multimediale Datenverwaltung
 - Binäre Dateiablage (z.B. Lagepläne, Pumpversuche etc.)
5. Verlaufsdaten/Messwerte
 - Mess- und Mengenwerte (quantitative Werte)
6. Zugriffsrechte/Benutzersichten
 - Gruppen- und Benutzerverwaltung, Zugriffsrechte, Sichten

Für den Datenaustausch mit anderen Behörden und externen Unternehmen sind XML-Schnittstellen vorgesehen, über die die gesamten Datenbestände bei Bedarf ausgetauscht werden sollen.

3.2 Triggerbasierte Replikationsmechanismen

Die erfassten Datenbestände werden derzeit in heterogenen Datenbanksystemen verwaltet. Dazu werden derzeit Oracle sowie der SQL-Server 2000 von Microsoft eingesetzt. Die Anforderung, verschiedene Datenbanksysteme zusammenzuführen, wurde erforderlich, da einerseits einige Betreiber über vorhandene Oracle-Systeme verfügten. Andererseits existiert mit der kostenlosen MSDE-Lösung des SQL-Servers ein System, das insbesondere für kleine und mittlere Wasserwerke sehr reizvoll und in seinem Funktionsumfang ausreichend ist.

Um die Datenbestände der dezentral vorliegenden, lokalen Datenbanken mit der zentralen Serverdatenbank abzugleichen, müssen geeignete Replikationsmechanismen eingesetzt werden. Da bei den einzelnen Wasserversorgern und Behörden aus den bereits erwähnten Randbedingungen unterschiedliche Datenbanksysteme installiert werden mussten, könnten keine datenbankspezifischen Mechanismen genutzt werden [7].

3.2.1 Replikationsmechanismen

Als Replikation wird ein Prozess bezeichnet, der es ermöglicht, eine definierte Menge von Grundwasserinformationen an mehr als einem Ort vorzuhalten. Dabei werden Änderungen an einem Ort (z.B. Wasserwerk) an die anderen Orte (Serverfarm) propagiert. Die Synchronisation der Daten findet hierbei in beide Richtungen statt [6].

Bei dem Replikationszeitpunkt unterscheidet man zwischen synchronen (eager replication) und asynchronen Replikationen (lazy replication). Bei der synchronen Replikation [Abb. 5] werden die Änderungen sofort an die Replikate propagiert, wodurch sich alle Replikate innerhalb einer Transaktion aktualisieren. Diese Art der Replikation verursacht eine hohe Netzwerkauslastung. Im Gegensatz dazu werden bei einer asynchronen Replikation [Abb. 6] die Änderungen erst später an die Replikate propagiert. Die Aktualisierung der Replikate erfolgt dann in separaten Transaktionen, die von jedem Wasserwerk individuell angestoßen werden können. Die Netzwerkauslastung ist dementsprechend gering.

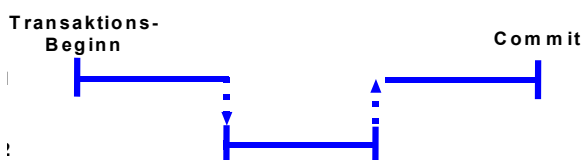


Abb. 5: Synchroner Replikation

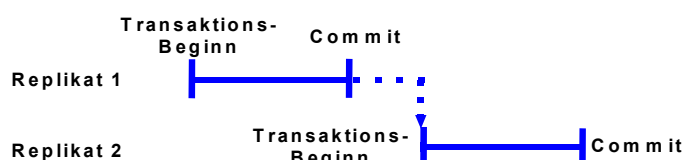


Abb. 6: Asynchrone Replikation

Bei der Auswahl des Konsistenzverfahrens musste zwischen einem optimistischen und einem pessimistischen Verfahren ausgewählt werden. Das optimistische Ver-

fahren ermöglicht einen Vollzugriff auf die lokalen Replikate. Eine Netzwerkverbindung wird nur während der Replikation aufgebaut. Dabei werden temporäre Inkonsistenzen in Kauf genommen, um die Verfügbarkeit der Daten innerhalb der einzelnen Unternehmen zu erhöhen. Bei einem pessimistischen Verfahren wird mit verteilten Sperrern gearbeitet, die die Konsistenz der lokalen Kopie (single-copy-consistence) gewährleisten. Auf Grund der starken Einschränkungen beim Datenzugriff, scheidet dieses Verfahren für ein verteiltes, paralleles Arbeiten aus.

Das gewählte optimistische Verfahren kann vergleichsbasiert oder protokollbasiert umgesetzt werden. Beim vergleichsbasierten Verfahren werden Zeitstempel in der jeweiligen Datenbank gesetzt, die zur Identifikation der getätigten Änderungen die Replikate inhaltlich vergleichen. Bei dem gewählten, protokollbasierten Verfahren werden alle Änderungen in einem Protokoll (XML-basiert) festgehalten [Abb. 7]. Dieses Protokoll wird an die Zieldatenbank propagiert und dort abgearbeitet [Abb. 8].

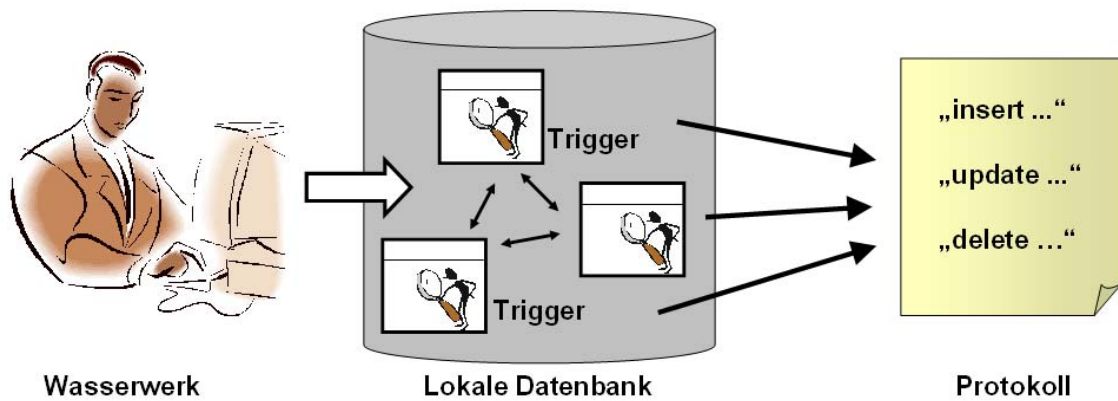


Abb. 7: Stufe 1 – Protokollierung aller Datenbankänderungen

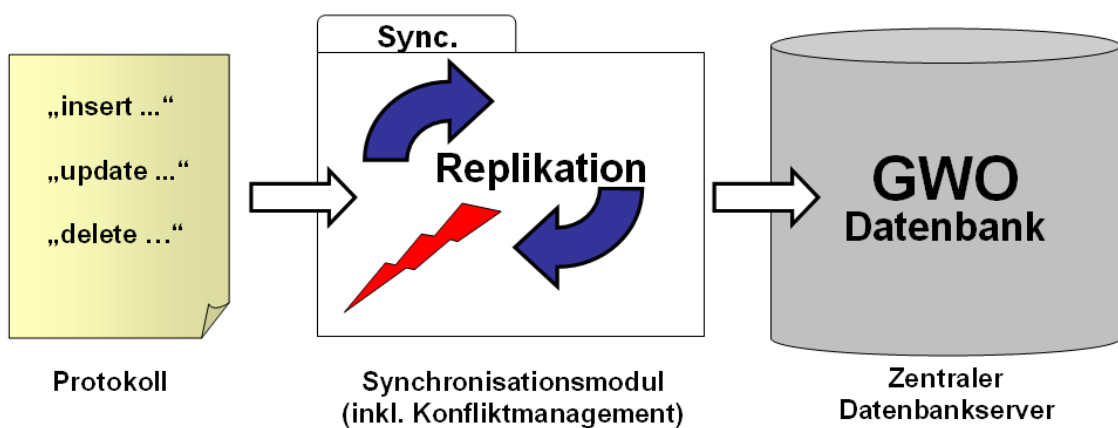


Abb. 8: Stufe 2 – Synchronisation der Replikate durch Auswertung des Protokolls

Eventuell auftretende Konflikte durch veraltete oder in beiden Datenbanken vorgenommene Änderungen der Datenbestände, werden erkannt und an einen Konfliktassistenten übergeben und können dort wahlweise manuell oder automatisch (z.B. neu überschreibt alt oder zentrale Datenbank überschreibt lokale) aufgelöst werden.

Für die konkrete Umsetzung im Rahmen des Grundwasser-Online-Projekts heißt dies, das ein Client/Server-Modell mit der zentralen Datenbank als Primärkopie gewählt wurde, das über asynchrone, optimistische Replikationsmechanismen realisiert wird, um einen lokalen Vollzugriff auf die Daten, ohne eine permanente Netzwerkverbindung, zu ermöglichen.

3.2.2 Protokollmechanismen und Inhalte

Für die Aufzeichnung aller vorgenommenen Änderungen werden Trigger auf alle potenziell veränderlichen Tabellen und Attribute der Datenbank installiert. Trigger sind in den ANSI SQL99 Standards (Paket 008) definiert. Ein Trigger kann bei Änderungen auf Tabellen automatisch vordefinierte Folgeaktivitäten auslösen [2]. Durch den Aufruf einer Stored Procedure (einer in der Datenbank gespeicherten Prozedur mit vorkompilierten SQL-Anweisungen) können beliebig umfangreiche Verarbeitungsvorgänge angestoßen werden.

Im Änderungsprotokoll des GWO-Systems selbst werden sämtliche Änderungsoperationen eines Nutzers im Wasserwerk auf Tupelebene mitprotokolliert. Da die Zeitintervalle zwischen zwei Synchronisationsvorgängen variabel sind, d.h. zum Teil mehrere Wochen umfassen können, ist es möglich, dass Tupel gegebenenfalls mehrfach verändert wurden. Hierfür sind Regeln für die Änderungsanweisungen aufzustellen, da immer nur eine Anweisung pro Tupel übertragen und abgearbeitet werden kann.

Als Datenformat für den Austausch des Änderungsprotokolls wird XML verwendet, das sich wiederum aus einem Header- und einem Body-Teil zusammensetzt. Im Header-Teil werden die gültige Sitzungs-ID, der Synchronisationszeitpunkt, Information über die Art der übertragenen Daten sowie Informationen, die das Replikat beschreiben, vorgehalten. Im Body werden alle Tupel und die dazugehörigen Tabellennamen, Primärschlüssel, die Änderungsart sowie der entsprechende Wert und für jedes Feld der entsprechende Datentyp übertragen.

3.2.3 Sicherheitsaspekte bei der Protokollübertragung

Übertragen wird bei der Replikation das angelegte XML-Änderungsprotokoll. Da die übertragenen Daten als sensibel eingestuft werden, muss der Zugriff durch Unbefugte ausgeschlossen werden. Daher werden bei der Protokollübertragung starke kryptografische Verschlüsselungsverfahren eingesetzt. Zum Einsatz kommt dabei das mit 128-bit verschlüsselte SSL-Verfahren (Secure Sockets Layer).

4 Anwendungsszenario für die Replikation von Grundwasserdaten

In der folgenden Grafik [Abb. 9] wird der vorgestellte Replikationsprozess am Beispiel der Erstellung und Vergabe von Zugriffsberechtigungen zweier Objekte veranschaulicht:

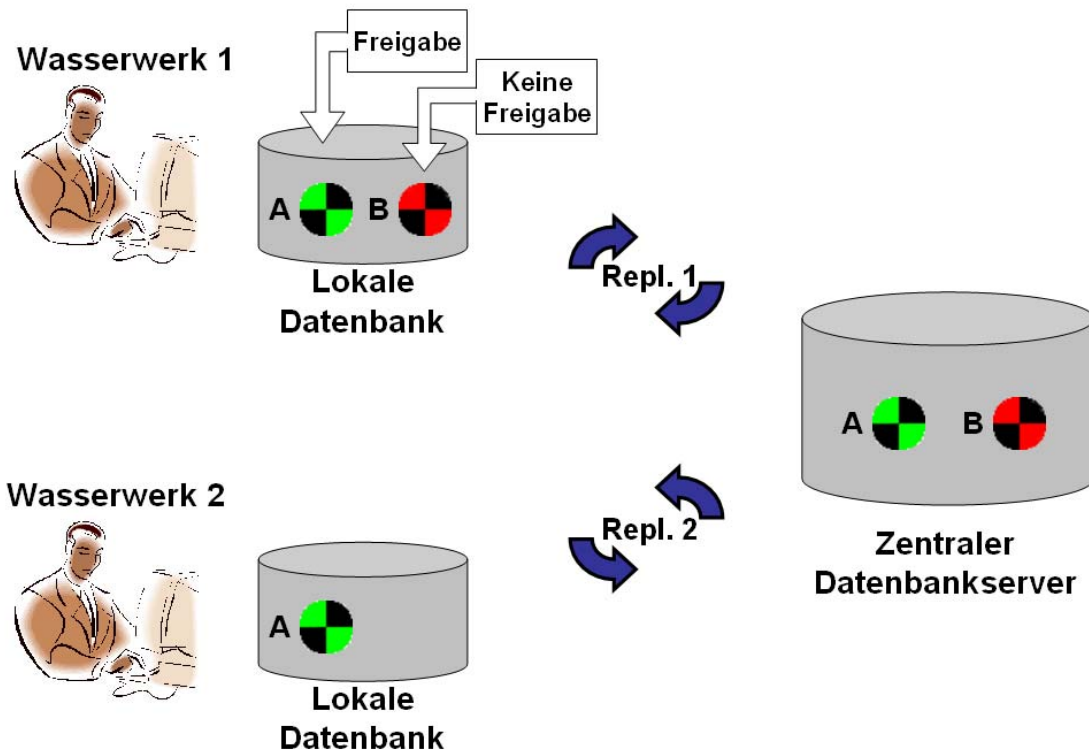


Abb. 9: Szenario des Replikationsvorgangs

Der Prozess gliedert sich in die folgenden Phasen:

1. Das Wasserwerk 1 legt in seiner Datenbank zwei neue Objekte an.
2. Das Objekt A wird für das Wasserwerk 2 freigegeben, d.h. Wasserwerk 2 erhält mindestens lesende oder schreibende Rechte auf die Stamm- oder Verlaufsdaten dieses Objekts. Für Objekt B werden hingegen keine Zugriffsrechte (Freigaben) erteilt.
3. Ein Mitarbeiter des Wasserwerks 1 startet den Replikationsprozess (1).
4. Die beiden Objekte A und B werden mit allen neuen bzw. geänderten Informationen in der zentralen Serverdatenbank abgelegt.
5. Ein Mitarbeiter des Wasserwerks 2 startet den Replikationsprozess (2).
6. Zusätzlich zum Abgleich der eigenen Daten, werden die Informationen des vom Wasserwerk 1 freigegebenen Objekts A auf die lokale Datenbank des Wasserwerks 2 übertragen, so dass die berechtigten Gruppen, entsprechend den vom Wasserwerk 1 definierten Rechten, mit dem Objekt A arbeiten können.

5 Zusammenfassung

Durch den gewählten Ansatz einer verteilten Datenerfassung und einer Zusammenführung dieser dezentralen Datenbestände über protokollbasierte Replikationsmechanismen in eine zentrale Serverdatenbank, werden die technischen Voraussetzungen für eine zeitnahe und unternehmensübergreifende Grundwassersteuerung geschaffen und gleichzeitig eine größtmögliche Freiheit bei der Bearbeitung der Grundwasserdaten in den einzelnen Wasserversorgungsunternehmen ermöglicht. Die unternehmensspezifischen Anforderungen im Hinblick auf die internen Strukturen und Zuständigkeitsressorts kann über die feingranularen Zugriffsrechte, die bis auf Objektebene individuell angepasst werden, realisiert werden.

Eine nachträgliche Datenbankerweiterung ist auf Grund des gewählten Ansatzes mit Triggern leicht möglich. Eine inhaltliche wie strukturelle Erweiterung des Systems ist durch den modularen Aufbau und die Skalierbarkeit jederzeit möglich.

Literaturverzeichnis

- [1] Grundwasser-Online: Zukunftsweisende Überwachung und Steuerung der Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried. <http://www.grundwasser-online.de>.
- [2] Härder, T.; Rahm, E.: Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung. Springer-Verlag, Berlin 1999.
- [3] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Schnittstellendefinition zum GruWa-Projekt "FIS-GW" – Fachinformationssystem Grundwasserschutz – Wasserversorgung. Wiesbaden 2000.
- [4] Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLFB): Aufschlusstyp SEP 3 (Beschreibung der Schnittstelle). <http://www.nlfb.de>.
- [5] Rüppel, U.; Meißner, U.; Gutzke, T.; Diaz, J.; Seewald, G.: Vernetzt-kooperative Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried. In: Tagungsband zu: Bauen mit Computern – Kooperation in IT-Netzwerken, Bonn 2002, VDI-Berichte 1668, Düsseldorf 2002.
- [6] Saito, Y.: Optimistic Replication Algorithms. In: International Symposium on Distributed Computing, S. 297-314, 2000.
- [7] Stockinger, H.: Data Replication in Distributed Database Systems. CMS Note 1999/046, 1999.