

**Beitrag Q: Matthias Schroeder, Elisa Bautz, Ulrike Hörmann,
Annette Kolberg und Alexander Limberg**

Die historische Entwicklung der Grundwasserstände im Berliner Zentrum

Matthias Schroeder, Elisa Bautz, Ulrike Hörmann, Annette Kolberg und Alexander
Limberg

*Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Berlin, Abteilung Integrativer
Umweltschutz,
matthias.schroeder@senuvk.berlin.de*

Abstract

The location of the Berlin's inner city area in the glacial valley named Warschau-Berliner Urstromtal caused a natural groundwater level of only a few meters below the ground surface. The knowledge about the current and highest expected groundwater level is therefore important for Berlin's water management and also for the construction sector. As a result, a network of groundwater monitoring stations was started in the center of Berlin. Thus, time series with a long history were archived for several monitoring wells from Berlin's inner city area. These time series allow a historical review of the groundwater fluctuations and also the economic development of the city of Berlin for the last 150 years. Using a newly developed web application, which illustrates the historical groundwater level fluctuations on an interpolated geostatistical surface, these developments can be presented impressively.

Zusammenfassung

Die Lage des Berliner Innenstadtbereichs im Warschau-Berliner Urstromtal bedingt einen natürlichen Grundwasserstand von nur wenigen Metern unter der Geländeoberfläche. Das Wissen um den aktuellen und höchsten zu erwartenden Grundwasserstand ist daher für die Berliner Wasserwirtschaft und ebenso für das Bauwesen von Bedeutung. Aufgrund dessen wurde früh mit der Errichtung eines Messnetzes von Grundwassermessstellen im Zentrum Berlins begonnen. Für mehrere Messstellen aus dem Berliner Innenstadtbereich können dementsprechend auf weit zurückreichende Messreihen verfügt werden. Diese Zeitreihen ermöglichen einen historischen Rückblick auf die Grundwasserstandsschwankungen und somit auch auf die wirtschaftliche Entwicklung der Stadt Berlin der letzten 150 Jahre. Über eine neu entwickelte Webanwendung, welche die historischen Grundwasserstands-

schwankungen auf einer interpolierten geostatistischen Oberfläche darstellt, können diese Entwicklungen eindrucksvoll präsentiert werden.

1 Einleitung

Um die historischen Schwankungen des Grundwasserstandes der Stadt Berlin anschaulich einer breiten Öffentlichkeit präsentieren zu können, wurde eine dynamische Webanwendung realisiert. In dieser Webanwendung wird über den Faktor Zeit eine wichtige Funktion zur Darstellung der historischen Entwicklung hinzugefügt. Ein Interpolationsalgorithmus sorgt für eine dynamische Berechnung von jahresweise gemittelten Messwerten der Grundwasserstände im Berliner Zentrum und zeigt somit erstmals - neben einer Ganglinie -auch eine animierte flächenhafte Darstellung der Grundwasserstandsschwankungen über die Zeit. Der Beitrag skizziert zunächst die allgemeine Grundwassersituation von Berlin (Kap. 2), woraus die Idee für diese Webanwendung abgeleitet wurde (Kap.3). In Kapitel 4 werden die Anforderungen an eine derartige Anwendung formuliert. Das Kapitel 5 stellt die Umsetzungsschritte dar, wie durch den Einsatz verschiedener standardisierter Webdienste [OGC Standards] beispielsweise dem Web Mapping Service (WMS) und dem Web Feature Service (WFS) in Kombination mit verschiedenen JavaScript Bibliotheken wie OpenLayers, eine interaktive und animierte Darstellung der jahresweisen Schwankungen entsteht. Das abschließende Kapitel 6 stellt die zukünftigen Weiterentwicklungen und Verbesserungen in Aussicht.

2 Die Grundwassersituation in Berlin

Das Berliner Stadtgebiet wurde morphologisch und geologisch durch die Weichsel-Kaltzeit geprägt (Abbildung 1).

Insbesondere der Berliner Innenstadtbereich im tief gelegenen Warschau-Berliner Urstromtal mit dem Nebental der Panke bedingt einen natürlichen Grundwasserstand von nur wenigen Metern unter der Geländeoberfläche. Das Wissen um den aktuellen und höchsten zu erwartenden Grundwasserstand ist daher für die Berliner Wasserwirtschaft und ebenso für das Bauwesen seit jeher von Bedeutung. Aufgrund dessen wurde im Jahre 1869 mit der Errichtung eines Messnetzes mit 27 Grundwassermessstellen im Zentrum Berlins begonnen.

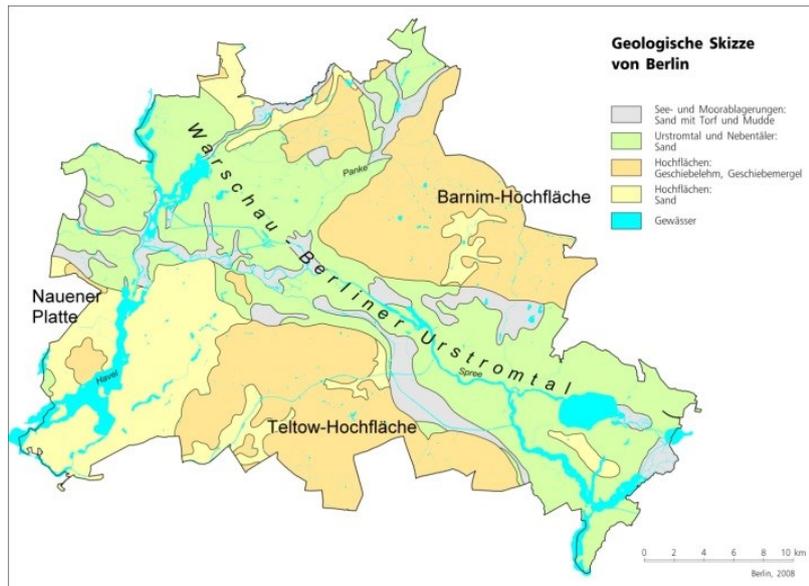


Abbildung 1: Geologische Skizze von Berlin.

Dieses Messnetz wurde in den folgenden Jahrzehnten stetig über das gesamte Berliner Stadtgebiet erweitert, sodass heute über ein operables Messnetz mit mehr als 1.000 Grundwassermessstellen verfügt werden kann. Für einen Teil dieser Messstellen aus dem Berliner Innenstadtbereich kann dementsprechend auf eine nahezu komplett vorliegende Zeitreihe seit dem Jahr 1870 zurückgeblickt werden. An diesen historischen Messreihen lassen sich die verschiedenen städtebaulichen Entwicklungen der Stadt Berlin für die letzten knapp 150 Jahre ablesen. Die Zeiten prosperierender Wirtschaft und den damit einsetzenden größeren Bautätigkeiten spiegeln sich in zum Teil deutlichen Grundwasserabsenkungen durch Grundwasserhaltungsmaßnahmen wider [Limberg et al. 2010].

3 Konzeptionelle Idee einer Webanwendung

Die Arbeitsgruppe der Landesgeologie in der Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz betreut neben den Fachbereichen der Geologie und Geothermie auch die Hydrogeologie und das Grundwassermanagement. Zu diesen Fachthemen werden laufend diverse Daten erhoben, analysiert, verwaltet und zu verschiedenen Fachauskünften weiterverarbeitet und veröffentlicht. Bezogen auf den Bereich des Grundwassers sind das vor allem Kartendarstellungen, die über das Geoportal Berlin [Geoportal Berlin] zumeist als standardkonforme Webdienste

bereitgestellt werden. Verschiedene Aspekte des Grundwassermanagements können dort abgefragt werden wie z.B. die Grundwassergleichenkarte für das aktuelle Jahr, die Grundwassertemperaturen für verschiedene Tiefen und der zu erwartende höchste Grundwasserstand (zeHGW). Der tagesaktuelle Grundwasserstand [Tagesaktueller Grundwasserstand, FIS Broker] inklusive der Ganglinien wird für 38 ausgewählte Messstellen veröffentlicht (Abbildung 2).

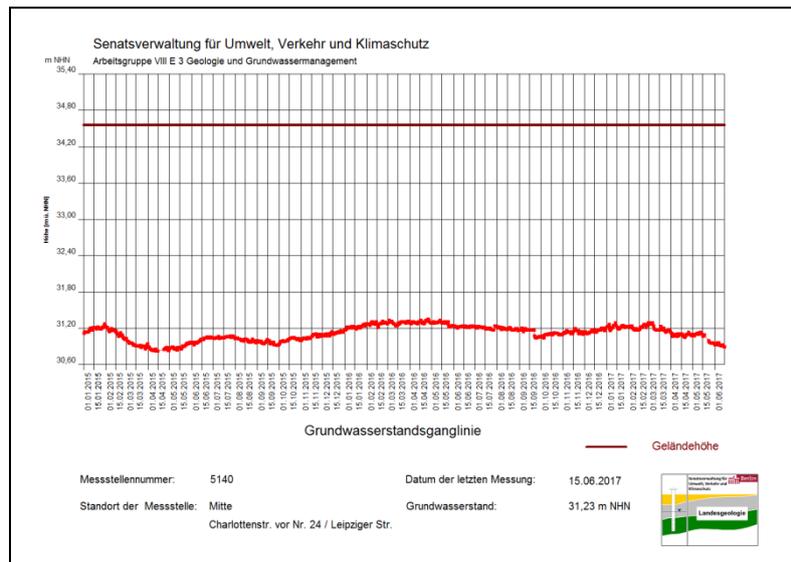


Abbildung 2: Grundwasserstandsganglinie für eine Messstelle; abgerufen im Geoportal Berlin am 15.06.2017.

Die tagesaktuellen Grundwasserstände sind für ausgewählte Stationen einzeln und nacheinander abrufbar. Nichtsdestotrotz bergen die Zeitreihen der einzelnen Grundwassermessstellen noch wesentlich mehr an Darstellungs- und Auswertemöglichkeiten. Die Messreihen eignen sich in hervorragender Weise für eine animierte Darstellung der Grundwasserstands-schwankungen über die Komponente Zeit. Allerdings sind die Möglichkeiten der dynamischen Darstellung von Punktdaten, welche die Grundwassermessstellen von ihrer Geometrie her sind, sehr begrenzt. Einen Gesamtüberblick der Datenlage, der dem Nutzer idealerweise neue Zusammenhänge erschließen kann, kann so nur schwerlich gelingen. Insofern ist recht schnell die Idee einer Interpolation der Messwerte hin zu einer flächenhaften Visualisierung entwickelt worden.

Ziel der flächenhaften Darstellung ist es, die langjährigen Messdaten in einer dynamisch animierten Webanwendung bereitzustellen. Verbunden mit dem weiterführenden Ziel, dadurch die Öffentlichkeit zu informieren und somit für ein

besseres Verständnis der Tätigkeiten der Arbeitsgruppe Landesgeologie zu werben. Derartige Veröffentlichungen entsprechen der E-Government-Strategie des Landes Berlin [BEGS 2015], welche im Jahr 2016 ebenfalls in einem E-Government-Gesetz [Berliner E-Government Gesetz 2016] verabschiedet wurde. Weiterhin ist diese Art der Aufbereitung der Daten auch für die eigenen Mitarbeiter der Verwaltung interessant, die sie für weiterführende Analysen nutzen können.

4 Anforderungen und Ausgangslage

Basierend auf diesen Vorüberlegungen konnten zügig die elementaren Anforderungen ermittelt werden. Es sollte eine Webanwendung entwickelt werden, die geeignet ist, in die bestehenden Webseiten der Arbeitsgruppe Landesgeologie integriert zu werden. Die punktuellen Messungen sollten durch eine geostatistische Oberfläche über den Faktor Zeit animierbar sein, um so die historische Entwicklung des Grundwasserstandes in Berlin zu veranschaulichen. Das Ganze sollte möglichst über standardisierte Webdienste erfolgen, um den Interoperabilitätsanforderungen zu genügen. Dafür bot sich beispielsweise der OGC konforme Web Map Service Time (WMS-T) an, der es erlaubt, Zeitreihen zu verarbeiten [OGC Best Practice 2014]. Weiterhin sollte nur Free and Open Source Software (FOSS) eingesetzt werden und die grafische Nutzeroberfläche so gestaltet werden, dass verschiedene Displaygrößen verwendet werden können [Schroeder et al. 2015].

Damit war das Thema für eine Abschlussarbeit geeignet, die Absolventen des beruflichen Weiterbildungsanbieters GIS-Akademie angeboten wurde [GIS Akademie 2017]. Die ehemaligen Absolventen Jhosnella Sayago, Madeleine Rauh und Frank Schönian konnten für die Entwicklung eines Prototyps der Webanwendung gewonnen werden. Aufgrund des zeitlich streng limitierten Rahmens der Abschlussarbeit wurde schnell deutlich, dass die Verarbeitung von annähernd eintausend Messstellen nicht möglich sein würde. Somit wurde eine Begrenzung der Datenlage auf die historischen Messzeitreihen aus dem Berliner Innenstadtbereich festgelegt. Hierbei handelt es sich um einen Datensatz von 32 der ältesten Grundwassermessstellen des Berliner Messnetzes, die bis heute nahezu ununterbrochen in Betrieb sind.

Der betrachtete Messzeitraum dieser 32 Messstellen umfasst eine Spanne von 1870 bis zum Ende des Jahres 2016. Die Messwerte wurden mit den dazugehörigen

Koordinaten für die Stationen, dem Wert für die Geländeoberkante (GOK), den Bezeichnungen der Stationen und den gemessenen Grundwasserständen aus der zentralen Datenbank in ein Textformat exportiert. Bei der Prüfung der Zeitreihen fielen kleinere und größere Lücken in den Messintervallen auf, an denen Messungen - historisch bedingt - ausgefallen waren. Ebenso ließen sich unterschiedliche Messzeiten feststellen, wie auch verschiedene Intervalle der Messungen. Da schnell klar wurde, dass stunden- oder tageweise Werte nicht adäquat über den langen Zeitraum darstellbar sein würden, wurde aufgrund der oben genannten Unregelmäßigkeiten beschlossen, Mittelwerte für die einzelnen Jahre der Messungen zu bilden. Die gemittelten 170.000 Werte für 32 Stationen wurden daraufhin in eine Tabelle zusammengefasst und in eine extra aufgesetzte Datenbank integriert [PostgreSQL].

5 Umsetzung

Ende 2016 konnten die Entwicklungen abgeschlossen und ein Prototyp der Webanwendung vorgestellt werden. Die Abbildung 3 zeigt bereits eine Weiterentwicklung des Prototyps mit der Einbettung der Anwendung in das Corporate Design des Berliner Senats. Die Anwendung besitzt als zentrales Element eine Kartenansicht, welche das Interpolations-ergebnis darstellt. Weiterhin sind die entsprechenden Grundwassermessstellen mit den zugehörigen Bezeichnungen auf einer OpenStreetMap (OSM) Datenbasis dargestellt [OpenStreetMap 2017].

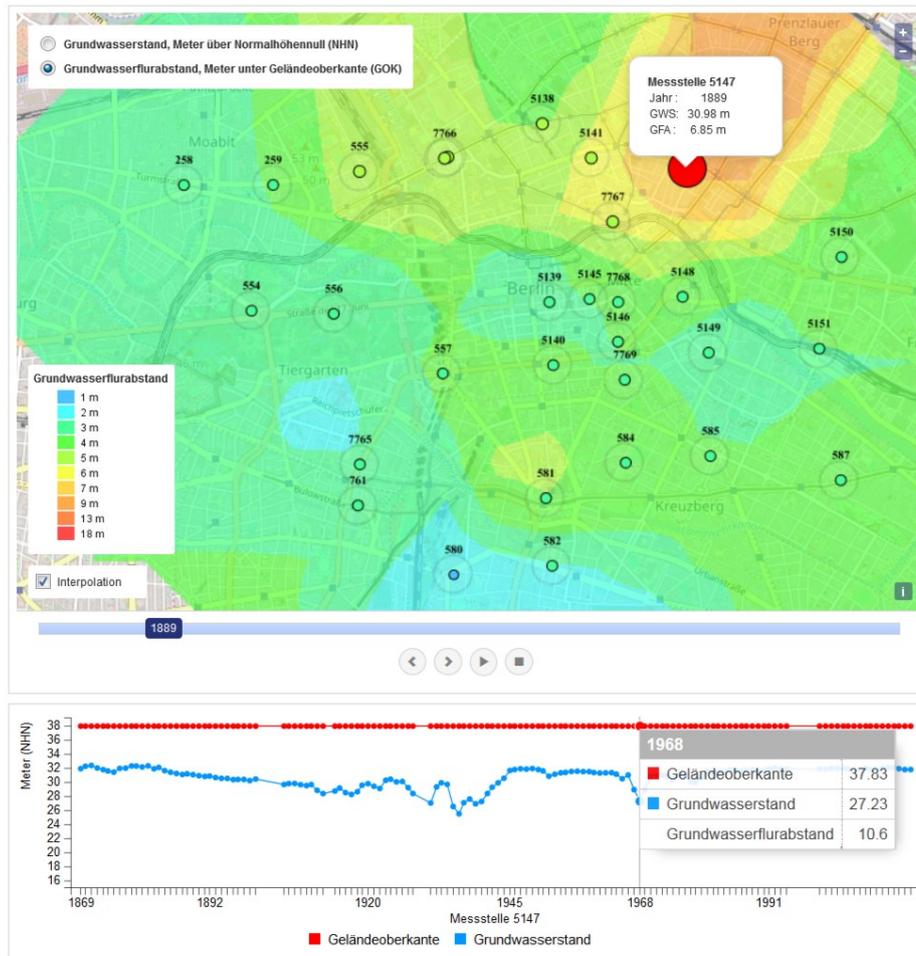


Abbildung 3: Ansicht der Webanwendung mit Karte, Zeitschieberegler und interaktiver Ganglinie.

Auf der linken Seite der Kartenansicht kann der Nutzer zwischen zwei Interpolationsarten wählen. Zum einen kann der Grundwasserstand in Metern über Normalhöhennull (*NHN*) und zum anderen der Grundwasserflurabstand in Metern unter der Geländeoberfläche visualisiert werden. Die Anwahl dieses Radio-Buttons bewirkt die Ansicht einer der beiden Interpolationen und ändert den entsprechenden Inhalt in der Legende. Wird eine Station im Kartenbild mit dem Mauszeiger direkt angewählt, erscheint ein Popup Fenster mit einer Zusammenfassung der Werte und gleichzeitig wird eine Diagrammsicht für diese Messstelle unterhalb des Kartenbildes geöffnet. Diese Gangliniendarstellung enthält eine gewisse Dynamik, die sich darin zeigt, dass beim Überfahren der Ganglinie mit dem Mauszeiger die jeweiligen exakten Jahresmittelwerte in einem Tooltip-Fenster ausgegeben werden. Die eigentliche Animation des Zeitverlaufes kann unterhalb des Kartenbildes durch einen Zeitstrahl mit Start/Stop Automatik angestoßen werden. Der Nutzer hat hier die Möglichkeiten,

schrittweise durch die einzelnen Jahre zu klicken oder eine animierte Darstellung der Interpolationsergebnisse über den gesamten Zeitraum zu starten.

5.1 Architektur der Anwendung

Für die Entwicklung der Web-Anwendung wurde auf Free and Open Source Software (FOSS) zurückgegriffen, die in einer klassischen Client-Server-Architektur aus drei Schichten implementiert wurde. In Abbildung 4 sind diese drei Schichten grob in der Schachtelstruktur der Abbildung erkennbar. Beginnend mit der Datenhaltungsschicht (*data-server tier*) im unteren Bereich der Abbildung, werden die Daten in der Logikschicht (*application-server tier*), bestehend aus Web- und Map-Server, zu OGC konformen Webdiensten verarbeitet [Müller et al. 2006]. Die Webdienste werden anschließend in der Präsentationsschicht (*client tier*) durch die Einbettung in das JavaScript Framework Openlayers dem Nutzer im Webbrowser präsentiert [OpenLayers]. Dabei werden ergänzend die Möglichkeiten der dynamischen Abfrage und Anzeige der Daten durch spezielle JavaScript Bibliotheken genutzt.

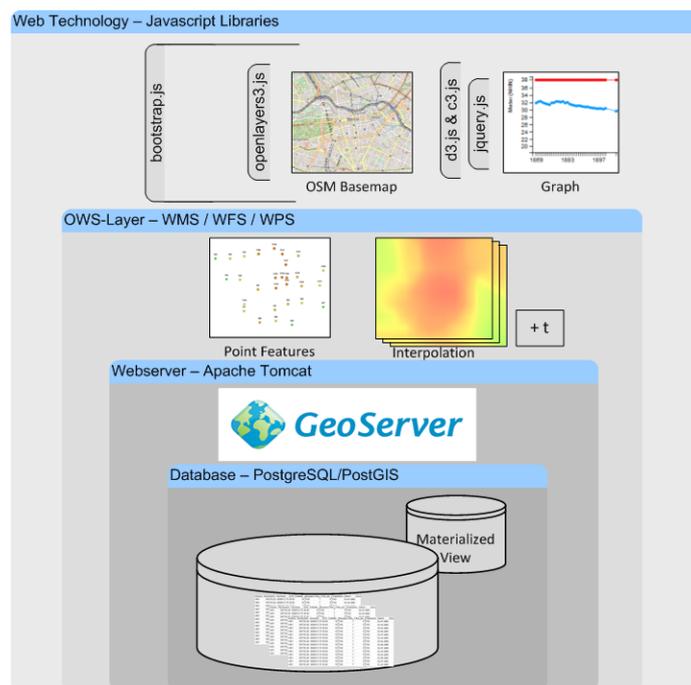


Abbildung 4: Geschachtelte Darstellung der Architektur der Webanwendung angelehnt an Client-Server-Architektur.

Die JavaScript Bibliothek jQuery ermöglicht die Einbettung des Zeitschiebereglers unterhalb des Kartenbildes, mit welchem der Nutzer jahresweise die Interpolationen anzeigen kann [jQuery]. Die Bibliotheken d3 und c3 wurden für die dynamische Anzeige der Abfrageergebnisse im Browser eingesetzt [D3; C3]. Alle Bibliotheken

zusammen dienen der Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit derartiger Webanwendungen. Zu guter Letzt wurden die Client-seitigen Komponenten durch die Nutzung der JavaScript Bibliothek Bootstrap ins Responsive Webdesign (RWD) überführt [Bootstrap]. Die Anwendung des Responsive Designs stellt sicher, dass eine optimale Anzeige der Inhalte bei unterschiedlichen Displaygrößen gewährleistet ist.

5.2 Die Barnes Surface Interpolation

Um die punktuellen Messungen der Grundwasserstände ansprechend über die Zeit animieren zu können, wurde entschieden, die Messwerte jahresweise zu geostatistischen Oberflächen zu interpolieren. Der in der Mapserver-Software Geoserver implementierte Algorithmus nach Barnes [Boundless Suite] erschien passend und konnte für die Interpolation genutzt werden. Über die Geoserver Funktion *Rendering Transformation* [Geoserver] werden die in Geoserver geladenen Punkte geostatistisch zu einer Oberfläche (Surface) interpoliert. Hierzu muss die WPS-Erweiterung im Geoserver installiert sein, da diese Erweiterung die nötigen Geoprozessierungsroutinen mitbringt. Der Web Processing Service (WPS) muss jedoch nicht zwangsweise für die Verwendung der Barnes Surface Interpolation aktiviert sein. Die Prozessierung der Daten selbst wird durch eine Styled-Layer-Descriptor Datei (SLD) gesteuert, wobei im ersten Teil der Datei die Parameter für die Interpolation übergeben werden und im zweiten Teil die Rastersymbolizer zur klassifizierten Darstellung des Ergebnisses festgelegt werden.

Programmatisch wird bei der Interpolation zunächst ein reguläres Gitter von Zellen erzeugt, welche die interpolierten Werte der nächstgelegenen Punkte enthalten. Mathematisch werden dabei Gaussche exponentiell abfallende Funktionen für jeden Beobachtungspunkt verwendet. Über die SLD-Datei können Wiederholungen der Routine definiert werden, die auf Basis des ersten erzeugten Gitters das Interpolationsergebnis verfeinern. Es werden für die Webanwendung zwei Interpolationen aus den Daten errechnet. Die erste zeigt den Grundwasserstand in Metern über Normalhöhennull (NHN). Diese Angabe ist besonders wichtig für Bautätigkeiten und wird daher oft von Ingenieurbüros verwendet. Die zweite Interpolation stellt den Grundwasserflurabstand in Metern unter der Geländeoberfläche dar und gibt somit an, in welcher Tiefe das Grundwasser unter der Oberfläche anzutreffen ist. Diese Angabe ist kognitiv einfacher zu erfassen und

entspricht dem Verständnis der interessierten Öffentlichkeit. Daher wird diese Interpolation in einer farblich abgegrenzten Klassifizierung für die Tiefe dargestellt, die es dem Nutzer intuitiv erlaubt die Werte abzulesen. Für den Grundwasserstand über Normalhöhennull wurde ein übergangsloser Farbverlauf gewählt, da sich bei einer animierten Darstellung die Tiefenänderungen hier effektvoller zeigen und es bei diesen Werten nicht auf die Kenntnis der genauen Werte ankommt. Zwischen beiden Interpolationsergebnissen kann über den Radio Button auf der linken Seite der Kartenansicht gewechselt werden. Mit jedem Aufruf der jahresweisen Interpolation wird die Berechnung von neuem durchgeführt. Dieser Umstand macht es leicht, Daten später zu ergänzen, zu ändern oder um neue Jahreswerte zu erweitern. Damit die Performance bei den einzelnen On-Demand Berechnungen stabil bleibt, wurden einige Maßnahmen getroffen wie beispielsweise der Zugriff auf ein Materialized View der verwendeten Datenbank. Weiterhin wurden die Interpolationsergebnisse mit den Stationen aus Punktlayers überlagert. Dazu wurde ein WMS eingerichtet, der die Messstationen in der Karte anzeigt und zusätzlich wurde darüberhinaus noch ein WFS implementiert, der die WMS Daten transparent überlagert. Letzteres ist eine Maßnahme, um mit einem Mausklick Informationen zu den Messstationen abrufen zu können. Technisch handelt es sich dabei einfach um eine GetFeatureInfo Prozedur.

6 Ausblick

Die beschriebene Webanwendung stellt eine sehr anschauliche Darstellung der Entwicklung der historischen Berliner Grundwasserstände bereit. Erstmals kann mittels einer geostatistischen Oberfläche in Verbindung mit interaktiven Ganglinien, ein Gesamtbild der Grundwasserstände Berlins über einen langen Zeitraum vorgestellt werden. Die Webanwendung ist daher im besonderen Maße für eine Veröffentlichung auf den Webseiten der Arbeitsgruppe Landesgeologie der Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz geeignet. Eine zügige Integration in das Webangebot des Berliner Senats steigert das Informationsangebot für die Öffentlichkeit um eine wirkungsvolle Komponente.

Diese prototypische Webanwendung bietet mit den langen Zeitreihen einen einzigartigen Blick in die Historie der Berliner Grundwasserstände. Vorstellbar ist aber auch, den weit größeren Datenbestand von nahezu 1.000 betriebenen Grundwassermessstellen in die Interpolation miteinzubeziehen. Eine derartige Lösung

würde nicht den historischen Rückblick erlauben, wie es derzeit der Fall ist. Jedoch ließe sich damit die jüngere Vergangenheit der Grundwasserstandschwankungen genauer untersuchen und möglicherweise könnten Grundwasserstände für Gebiete ohne Messstellen vorhergesagt bzw. mit bestehenden Modellen verglichen werden.

Einige explizit technische Anpassungen sind ebenfalls denkbar. Beispielsweise wäre es sinnvoll die redundante Datenhaltung, wie es derzeit mit der Auslagerung der Daten in eine PostgreSQL/Postgis Lösung realisiert wurde, zu vermeiden. Weiterhin wäre eine andere Art der Darstellung des Interpolationsergebnisses z.B. als Shaded Relief vorstellbar, oder die Schaffung einer Download-Möglichkeit der Datensätze für einzelne Messstellen.

7 Literatur

Berliner E-Government-Strategie (BEGS, Senatsverwaltung für Inneres und Sport, Version 3.4 vom 25. August 2015): <https://www.berlin.de/sen/inneres/moderne-verwaltung/e-government/strategie/begs-272282.php>, (aufgerufen am 31.05.2017).

Bootstrap JavaScript Bibliothek: <http://getbootstrap.com/>, (aufgerufen am 31.05.2017).

Boundless Suite 4.10: <http://suite.opengeo.org/docs/latest/cartography/rt/barnes.html>, (aufgerufen am 31.05.2017).

C3 JavaScript Bibliothek: <https://c3js.org>, (aufgerufen am 31.05.2017).

D3 JavaScript Bibliothek: <https://d3.js.org>, (aufgerufen am 31.05.2017).

Geoportal Berlin, FIS Broker: <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, (aufgerufen am 31.05.2017).

GIS Akademie, Hamburg: <http://www.gis-akademie.de/> & <http://www.gis-trainer.de/>, (aufgerufen am 31.05.2017).

Geoserver (Open Source Geospatial Foundation): <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/styling/sld/extensions/rendering-transform.html>, (aufgerufen am 31.05.2017).

Gesetz- und Verordnungsblatt für Berlin 72. Jahrgang, Nr. 14, 9. Juni 2016, 282, Berliner E-Government-Gesetz., 30. Mai 2016: <http://gesetze.berlin.de/jportal/?quelle=jlink&query=EGovG+BE&psml=bsbeprod.psml&max=true>, (aufgerufen am 31.05.2017).

jQuery: <http://jquery.com>, (aufgerufen am 31.05.2017).

Limberg A., Hörmann, U. & Verleger, H. (2010): Modellentwicklung zur Berechnung des höchsten Grundwasserstandes im Land Berlin, Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 17, 1/2, S. 23-37.

Müller M., Vorogushyn S., Maier P., Thieken A. H., Petrow T., Kron A., Büchele B., Wächter J. (2006): CEDIM Risk Explorer - a map server solution in the project Risk Map Germany; Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES), Special Issue 6 "Methods for risk assessment and mapping in Germany", 711-720.

OGC Best Practice for using Web Map Services (WMS) with Time-Dependent Data (2014): https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=56394, (aufgerufen am 31.05.2017).

OGC Standards and Supporting Documents: <http://www.opengeospatial.org/standards>, (aufgerufen am 31.05.2017)

OpenStreetMap – Deutschland: <https://www.openstreetmap.de/>, (aufgerufen am 31.05.2017)

OpenLayers, <http://openlayers.org>: (aufgerufen am 31.05.2017).

PostgreSQL, <https://www.postgresql.org>: (aufgerufen am 22.06.2017).

Tagesaktueller Grundwasserstand, FIS Broker: <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/kganglinien>, (aufgerufen am 31.05.2017).