

# Nachhaltiges Wassermanagement bei versalzenden Brunnen

**Wassergewinnung** ■ Einsatz kombinierter Erkundungs- und Modellierungsverfahren zur Ermittlung einer versorgungssicheren und nachhaltigen Bewirtschaftungsstrategie eines versalzenden Grundwasserleiters.

In Plön betreibt die Holsteiner Wasser GmbH derzeit ein Wasserwerk mit insgesamt sieben Förderbrunnen bei einer Gesamtentnahme von 690.000 m<sup>3</sup>/a. Das Fördergebiet befindet sich in einem Bereich, in dessen Untergrund sich eine direkt auf einem Salzkissen aufragende Salzwand befindet. Das Volumen des nutzbaren Grundwassers im Fördergebiet ist somit durchgängig von einer hochliegenden Salzwasseroberfläche begrenzt. An einzelnen Förderbrunnen wurden bereits erhöhte Chloridkonzentrationen festgestellt, teilweise mussten Förderbrunnen wegen Versalzung teilverfüllt oder sogar aufgegeben werden. Vor diesem Hintergrund wurde eine umfangreiche Konzeptstudie durchgeführt, um eine nachhaltige Bewirtschaftung für den Süßwasserkörper im Raum Plön zu gewährleisten.

Im Verlauf der Untersuchungen wurde die Salzwasseroberfläche mit geoelek-

trischen Methoden flächendeckend für das Arbeitsgebiet kartiert. Aus den geophysikalischen Ergebnissen und Bohrungsdaten wurde daraufhin ein hydrogeologisches Modell konstruiert. Dieses diente als Eingabedatensatz für ein numerisches Grundwasserströmungsmodell einschließlich eines Transportmodells für Chlorid. Mit dem numerischen Modell wurden Förderkonzepte für insgesamt vier Standortsszenarien für Neubaubrunnen erstellt sowie ein Vorzugsszenario ausgewiesen. Abschließend wurde am Vorzugsstandort eine Detailerkundung durch Bau von je vier Grundwassermessstellen und „dry hole“-Messstellen durchgeführt. Zur Charakterisierung der Standortssituation wurde pro Messstelle je ein Pumpversuch (Aquifertest) mit vier Grundwasserbeprobungen pro Pumpversuch durchgeführt und ausgewertet. Nachdem diese Methodenkombination bereits bei einer ähnlichen Aufgabensituation erfolgreich zur Erstellung eines

quantitativen Ressourcenassessments eingesetzt worden war, zeigte sich im Ergebnis nunmehr wiederholt, dass durch diese Vorgehensweise eine nachhaltige Bewirtschaftungsstrategie für den Süßwasserkörper erreicht werden kann und somit für den Bürger deutlich teurere, auch aus ökologischer Sicht unerwünschte Wasserlieferungen aus anderen Gebieten vermieden werden können.

## Problemstellung

Für die Versorgung der Stadt Plön wurde ursprünglich aus zwei Fassungen Wasser gefördert und zentral in einem Wasserwerk aufbereitet. Aufgrund von Versalzung sowie anthropogener Kontaminationen in der Fassung Stadtwald, direkt neben dem Wasserwerk, wurde die dortige Förderung im Jahr 2002 eingestellt. Die fehlende Rohwassermenge wird seitdem durch drei zusätzliche Brunnen in der weiterhin bestehenden Fassung Stadtheide gewonnen. Die jähr-

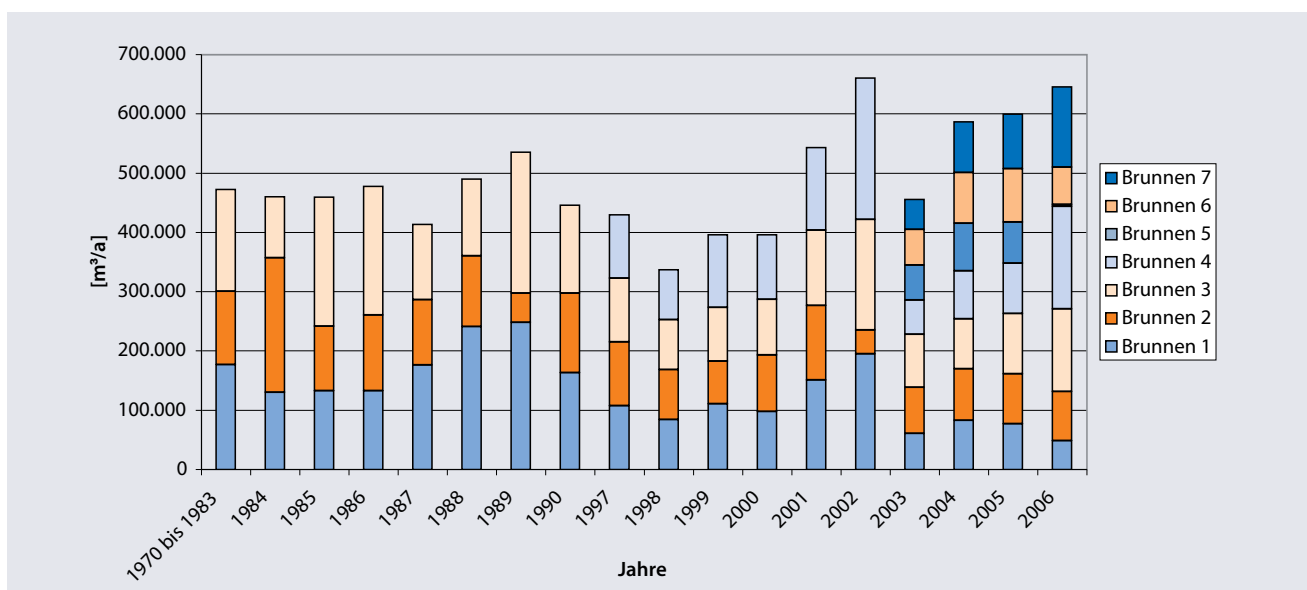


Abb. 1 Entnahmeraten der Förderbrunnen Stadtheide in den Jahren 1970 bis 2006

lich geförderte Wassermenge beträgt rund 650.000 m<sup>3</sup>, ein maßgeblicher Anstieg ist für die Zukunft nicht zu erwarten (Abb. 1).

Der Salzgehalt der neuen Brunnen stieg jedoch im Verlauf der Förderung an, sodass eine dauerhafte und zukunftsfähige Versorgungssicherheit aus dem Fassungsgebiet Stadtheide trotz der neu errichteten Brunnen nicht gegeben war. Da sich aus den bisherigen Untersuchungen keine alternativen Brunnenstandorte ermitteln ließen, wurde die Lieferung von Trinkwasser aus dem rund acht Kilometer entfernten Malente geprüft. Hier hätten zwar entsprechende Förder- und Aufbereitungskapazitäten geschaffen werden müssen, jedoch ist davon auszugehen, dass das Grundwasserangebot eine solche Lieferung erlauben würde. Zusätzlich zu den Kosten von Gewinnung und Aufbereitung hätte eine entsprechende Transportleitung erstellt und betrieben werden müssen. Somit wären nach einer ersten Abschätzung erhebliche Mehrkosten für die Plöner Wasserkunden entstanden. Aus diesem Grund wurde die im Folgenden beschriebene, äußerst detaillierte Untersuchung durchgeführt, um möglichst doch noch alternative Brunnenstandorte im jetzigen Versorgungsgebiet zu ermitteln.

Die Wasserförderung erfolgt in Plön aus einem oberflächennahen Grundwasserleiter, dessen Basis durch einen nicht durchgängig vorhandenen Geschiebemergel gebildet wird. In den Fehlstellen sind sandige, z. T. stark schluffige Sedimente vorhanden. Der Wasserleiter hat eine Mächtigkeit von etwa 50 bis 60 m. Der gesamte Gewinnungsbereich ist gekennzeichnet durch eine relativ hohe Lage der Salz-/Süßwassergrenze. Die Versalzung des Aquifers ist bedingt durch die nahe Lage der Salzmauer Plön-Schönberg, durch deren assoziierte Störungszonen das Salzwasser in hangende Aquifere aufsteigt. Erhöhte Chloridgehalte werden im Rohwasser einzelner Brunnen der Fassung Stadtheide bereits nachgewiesen. Entsprechend ist eine sowohl anthropogen als auch geogen verursachte Gefährdung der natürlichen Grundwasserressource im Raum Plön gegeben. Weiterhin erfolgen natürliche

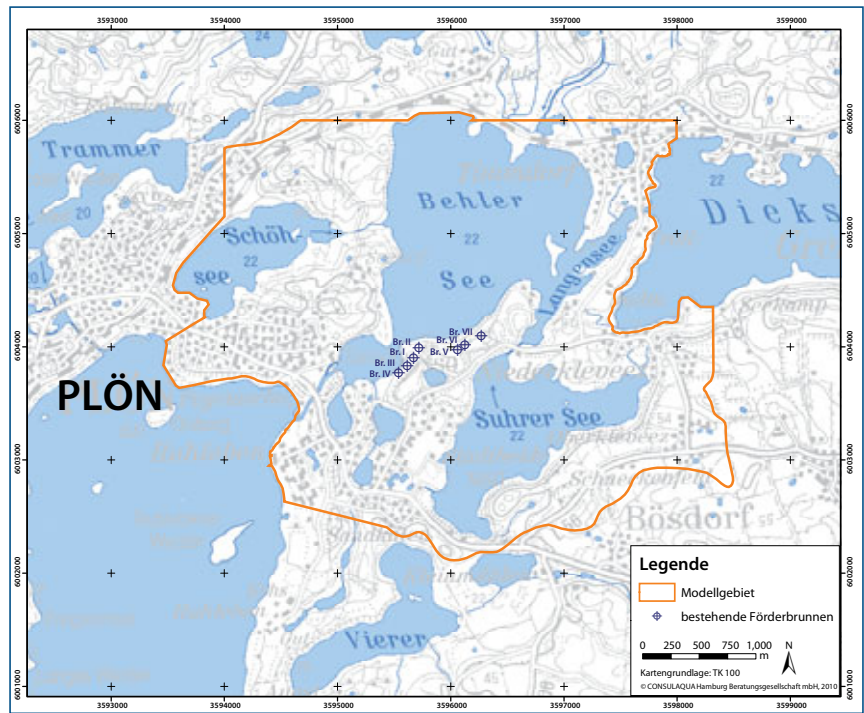


Abb. 2 Untersuchungsgebiet

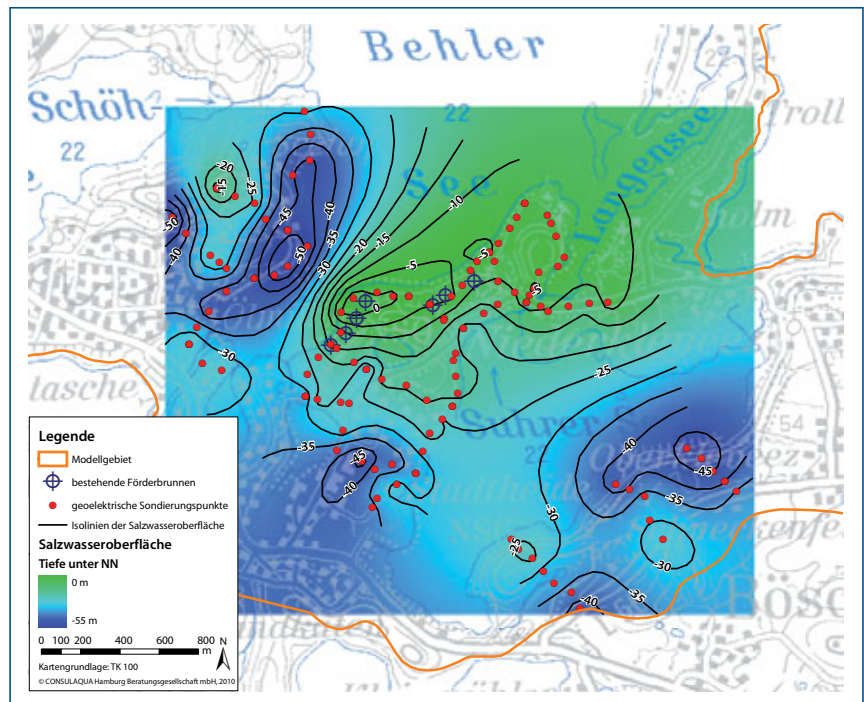


Abb. 3 Salzwasseroberfläche

Salzwasseraufwölbungen durch die Seen sowie durch eine Aufwölbung kreidezeitlicher Sedimentstrukturen im Osten des Untersuchungsgebiets. Um vor diesem Hintergrund eine langfristige Bereitstellung der für die Versorgung benötigten Wassermenge sicherstellen zu können, war die Erstellung eines nachhaltigen Bewirtschaftungskonzepts auf Basis einer um-

fassenden Datengrundlage erforderlich. Im Rahmen der Standortbewertung war abschließend eine Beurteilungsgrundlage zu schaffen, ob eine Trinkwasserförderung unter Eliminierung der genannten Probleme langfristig möglich sein würde, ohne dass Wassermengen teilweise oder gar vollständig von Fremdversorgern zugekauft werden müssen.

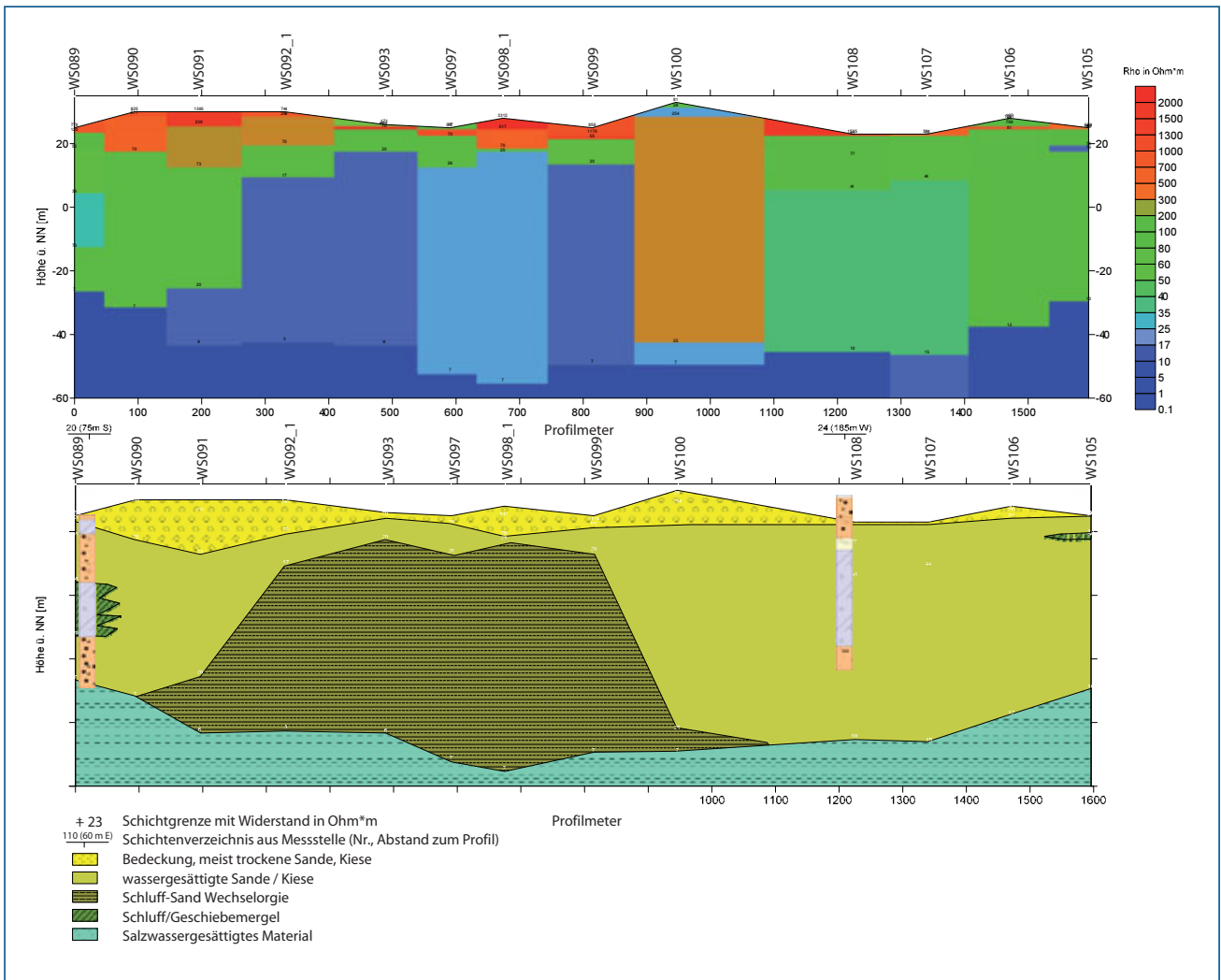


Abb. 4 Modellerte geoelektrische Widerstandsverteilung und hydrogeologische Interpretation

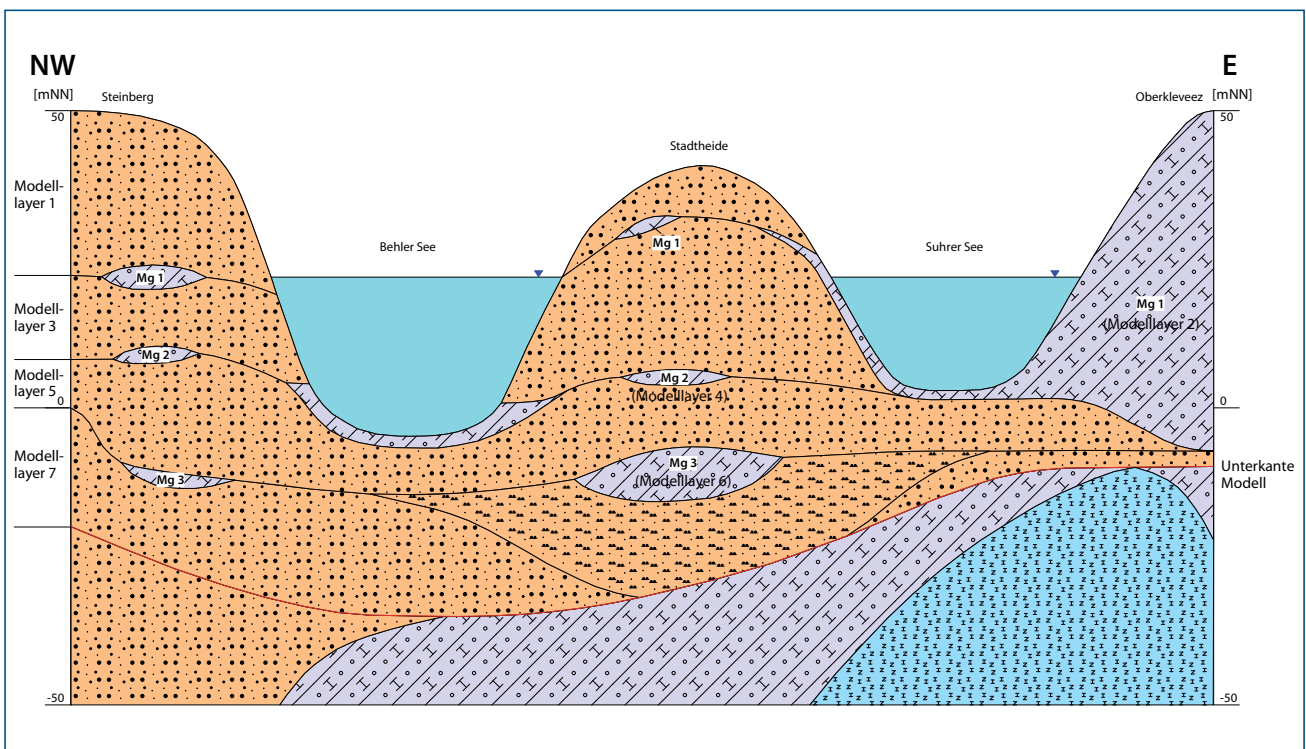


Abb. 5 Hydrostratigrafisches Schemaprofil



Das Untersuchungsgebiet umfasst die weitere Umgebung der Wasserfassung Plön-Stadtheide einschließlich der (seit 2002 nicht mehr betriebenen) Wasserfassung Plön-Stadtwald am Standort des Wasserwerks. Es umfasst weiterhin mehrere Seen der Plöner Seenplatte. Durch den hohen Anteil der Seen an der Fläche im Untersuchungsgebiet hat dieses eine Landoberfläche von lediglich 8,3 km<sup>2</sup> (entsprechend 60 %). Das Untersuchungsgebiet und das Modellgebiet sind in **Abbildung 2** dargestellt.

#### Methodenkombination zur Ressourcenerkundung und -bewertung

Zur Erstellung der Konzeptstudie für die Süßwasserbewirtschaftung wurden mehrere methodische Komponenten bearbeitet. Die gesamten für das Projektgebiet vorhandenen Daten wurden zusammengetragen und in einem GIS-Datenbank-System zentral gehalten, sodass eine komfortable Verwaltung, Verschneidung und Auswertung notwendiger Informationen gegeben war. Zu den Daten gehören Bohrdaten, meteorologische Daten, Wasserstände und Grundwassergleichenpläne sowie Daten zur Grundwasserbeschaffenheit. Weiterhin war auch eine Detailuntersuchung zur Bestimmung der durch Niederschlag neugebildeten Grundwassermenge im Untersuchungsgebiet erforderlich, um die Herkunft neugebildeten Grundwassers abschätzen zu können. Die Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet wurde nach dem TUB-BGR-Verfahren [7] unter Verwendung der bei Hamburg Wasser entwickelten Spezifikation für Norddeutschland [4] berechnet.

Das Untersuchungsgebiet wurde flächendeckend mit geophysikalischen Sondierungen vorerkundet. Es wurden geoelektrische Widerstandssondierungen durchgeführt (Anordnung nach Schlumberger). Aus den Messergebnissen wurde für das gesamte Untersuchungsgebiet flächendeckend die Salz-/Süßwassergrenze kartiert (**Abb. 3 und 4**).

Im Areal der Brunnenfassung Stadttheide ist eine Hochlage der Salz-/Süßwassergrenze festzustellen, die durch

die jahrelange Brunnenförderung verursacht wurde. Weiterhin ist auch auffällig, dass die Salzwasser Oberfläche im Bereich der Stauchendmoränengebiete durch den tektonischen Aufbau (gestapelte Schuppen geringleitender Sedimente, überwiegend Geschiebemergel) vergleichsweise tief gehalten wird. Die durch die geoelektrischen Widerstandssondierungen ermittelte Lage der Salz-/Süßwassergrenze bildete die Basis für die Kalibrierung des Stofftransportmodells. Zudem wurde sie weiterhin auch zur Vorauswahl möglicher Standorte für zusätzliche Förderbrunnen herangezogen.

#### Erstellung eines hydrogeologischen Modells

Für die Etablierung des hydrogeologischen Modells nach [2, 3] wurde ein Idealprofil generiert, das die hydrostratigrafischen Einheiten im Untersuchungsgebiet für die Erfordernisse des Modellimports schematisiert und kategorisiert (**Abb. 5**). Da eine hydrostratigrafische Klassifikation entsprechend Manhenke et al. [6] mit den vorliegenden Informationen nicht möglich war, wurden hier eigene hydrostratigrafischen Einheiten (Modelllayer) für das Untersuchungsgebiet entwickelt.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Bereich der weichseleiszeitlichen Endmoränenlinie. Entsprechend sind gestauchte Schichten sowohl am westlichen als auch am östlichen Rand des Gebiets vorhanden. In den geoelektrischen Schnitten werden Stauchungszonen entsprechend ihres Aufbaus als Schuppenstapel i. d. R. als Zone mit „Schluff-Sand-Wechselolgen“ kartiert.

Im unmittelbaren Umfeld der Wasserfassung bestehen die Sedimente in erster Linie aus gut hydraulisch leitenden Schmelzwassersanden, wobei zahlreiche geringmächtige Schluff-/Mergellinsen eingeschaltet sind. Ein mächtiges Schluff-/Geschiebemergelpaket dichtet den Nutzwasserleiter an einzelnen Lokaltäten im Untersuchungsgebiet gegen die Salzwasserniveaus im Liegenden ab; es ist jedoch bei Weitem nicht in voller Flächendeckung vorhanden. Mächtigere Dichtschichten treten ansonsten vor allem in den gestauchten Bereichen ▶



Funke Gruppe

www.funkegruppe.de

Funke Kunststoffstoffe GmbH

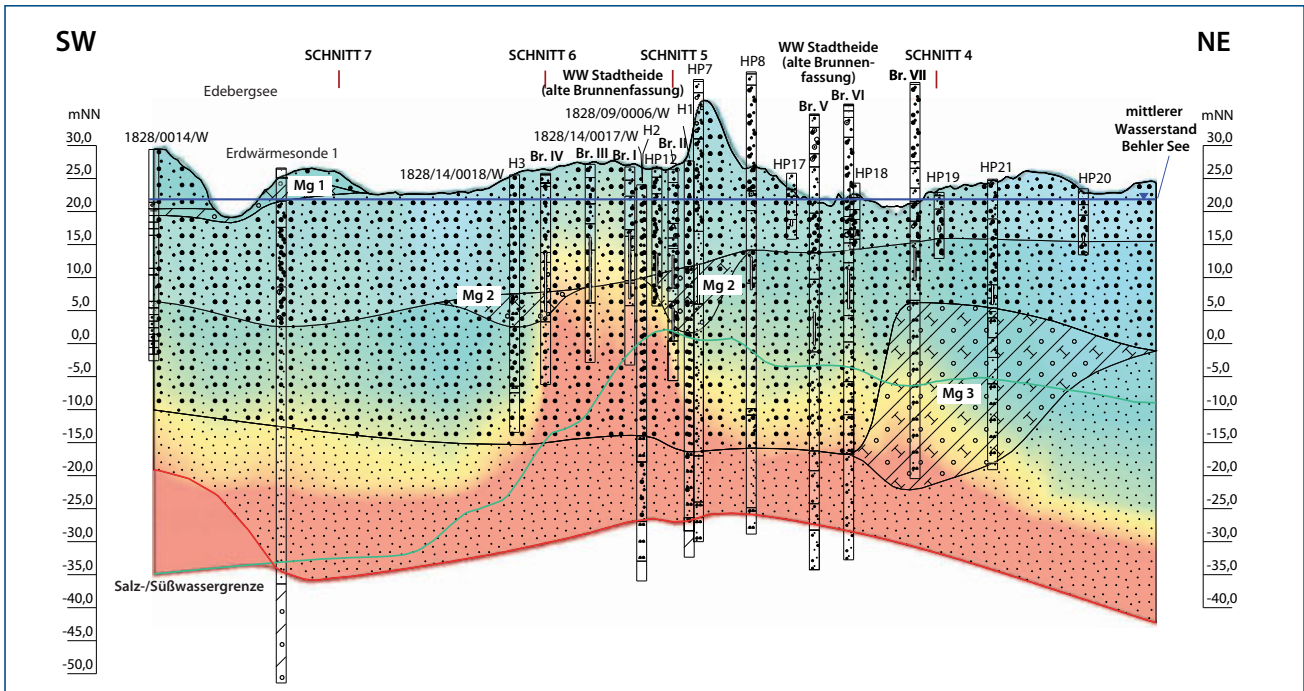


Abb. 6 Modellierter Lage der Salz-/Süßwassergrenze (Schnitt)

auf. Eine flächendeckende, grundwassergeringleitende Deckschicht im oberflächennahen Bereich mit Schutzfunktion gegen Grundwasserkontamination existiert im Untersuchungsgebiet ebenfalls nur vereinzelt.

Die Salzwand Plön-Schönberg befindet sich unmittelbar innerhalb des Untersuchungsgebiets. Zusätzlich existiert in größerer Tiefe ein Salzkissen mit einer erheblich größeren W-E-Lateralausdehnung. Durch Halokinese entstand die Timmdorfer Struktur, eine Störungszone mit einer W-E-Ausdehnung von ca. 3,3 km [5]. Die entlang der Störungszone aufsteigenden Salzwässer treten mindestens im geoelektrisch vermessenen Teil des Untersuchungsgebiets flächendeckend auf und treten zum Teil sogar oberflächlich aus. Die meisten Seen weisen erhöhte Chloridgehalte auf, was auf Austausch mit Salzwässern schließen lässt.

### Grundwasserströmungs- und -transportmodell

Die Erstellung des hydraulischen Grundwasserströmungsmodells sowie des Transportmodells erfolgte mit der auf finiten Elementen basierenden Simulationssoftware FeFlow (WASY GmbH, Berlin) entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W107 [1]. Für das numerische

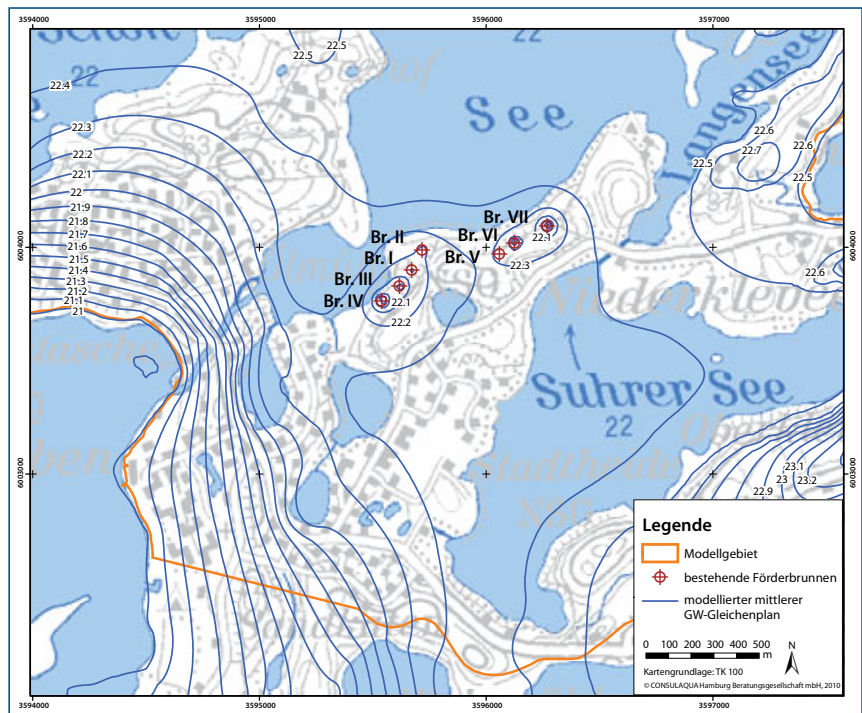


Abb. 7 Modellierter Grundwassergleichenplan

Grundwasserströmungsmodell wurde das hydrogeologische Strukturmodell als Eingangsdatensatz verwendet. Aufbauend auf dem numerischen Grundwasserströmungsmodell wurde ein Transportmodell für den Parameter Chlorid generiert und auf Basis der langjährigen Chloridganglinien der in Betrieb befindlichen Förderbrunnen

instationär kalibriert. Das Modellgebiet umfasste eine Fläche von 13,26 km<sup>2</sup>.

Durch die Modellierung wurden wichtige Erkenntnisse über das Verhalten der Süßwasservorräte bzw. der Salzwasseroberfläche im Untersuchungsgebiet gewonnen. Mit dem Modell konnte die Lage der Salz-/Süßwassergrenze

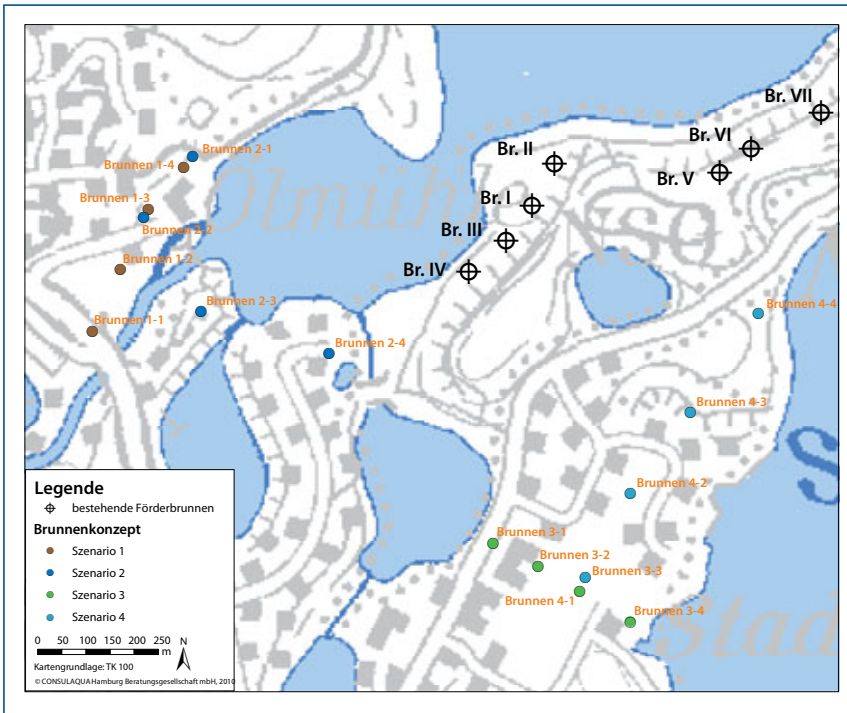


Abb. 8 Lageplan Szenarien

im Bereich der bereits betriebenen Förderbrunnen gut reproduziert werden (Abb. 6).

Es ergab sich darüber hinaus, dass die Salzwasseroberfläche bedingt durch den hydraulischen Drainageeffekt der Seen unter diesen besonders weit nach oben gestiegen ist. Demgegenüber waren die Süßwassermächtigkeiten im Bereich der Landengen zwischen den Seen besonders groß. Eine weitere wichtige Erkenntnis war, dass in Anwesenheit besonders steiler Grundwassergradienten, wie sie im Untersuchungsgebiet insbesondere im Landbereich zwischen Großem Plöner See und Hötftsee beobachtet wurden, die Salzwasseroberfläche besonders tief gehalten wird (Abb. 7). Entsprechend konnten wichtige Kriterien zur Vorauswahl der Modellvarianten für das Bewirtschaftungskonzept gewonnen werden. Weiterhin war anhand der Wasserbilanzen festzustellen, dass etwa 60 % des Förderwassers in den bereits in Betrieb befindlichen Wasserwerksbrunnen durch Uferfiltration, sowie lediglich 40 % durch Niederschläge neugebildet werden.

**Modellierung von Förderszenarien (Variantendiskussion)**

Im Rahmen der numerischen Grundwasserströmungs- und -transport-

modellierung wurden vier Varianten entwickelt und auf ihre Eignung zum potenziellen Neubau zusätzlicher Brunnengalerien (je 4 Brunnen pro Galerie) geprüft. Für diese Standorte wurden über eine Prognosefrist von 40 Jahren Förderszenarien berechnet und die modellierten Chloridganglinien ausgewertet. Entsprechend des günstigsten Szenarios wurde eine Vorzugsvariante benannt und mit Kostenschätzungen

unterlegt (Abb. 8). Es stellte sich heraus, dass die beiden in der Landenge zwischen Hötftsee und Großem Plöner See konzipierten Varianten aufgrund mehrerer Eigenschaften klar zu bevorzugen waren:

- Zwischen Hötftsee und Großem Plöner See existiert ein Wasserstandsgradient von ca. 1,00 m. Es kann mit einem entsprechend hohen Wasserandrang gerechnet werden, sodass sich die hydraulische Wirkung der Förderung auf die Salzwasseroberfläche optimal minimieren lässt.
- Die Salzwasseroberfläche erreicht hier gemäß Ergebnissen der geoelektrischen Sondierungen mit ihre größten Tiefen.
- Ein Geschiebemergel (Grundmoräne) ist in allen in der Umgebung befindlichen Bohrungen erbohrt mit Mächtigkeiten von mehr als ca. 10 (bis zu 35) m. Er befindet sich ebenso in hinreichender Tiefe, sodass eine für die Nutzung als Förderhorizont geeignete Schicht im Hangenden ausgebildet ist.

Die beiden anderen Varianten, in denen u. a. auch ein ehem. Förderbrunnenstandort nochmals auf seine Eignung hin geprüft wurde, stellten sich als ungeeignet heraus. Sie waren auf einer weiteren Landenge zwischen zwei Seen gelegen, zwischen denen jedoch lediglich ein Gradient von wenigen Zentimetern ausgebildet war. Entsprechend wurde ▶

**BRUNNENFILTER**

**JETZT PREISLISTE ANFORDERN**



**GEBR. KLAAS GMBH**

Tel. 0 59 04 / 93 60-0  
 Fax 0 59 04 / 93 60-29  
 E-Mail: [klaas.gkf@t-online.de](mailto:klaas.gkf@t-online.de)

**Rohrzusammenführung**

Material PE 100



32/32-40 € 11,-/St.  
 40/40-50 € 13,-/St.

zuzüglich Mehrwertsteuer, ab Werk

Tel.: 07024/929242  
 Fax: 07024/929244  
[www.m-colsborn.de](http://www.m-colsborn.de)  
 Neuffenstraße 78  
 D 73240 Wendlingen





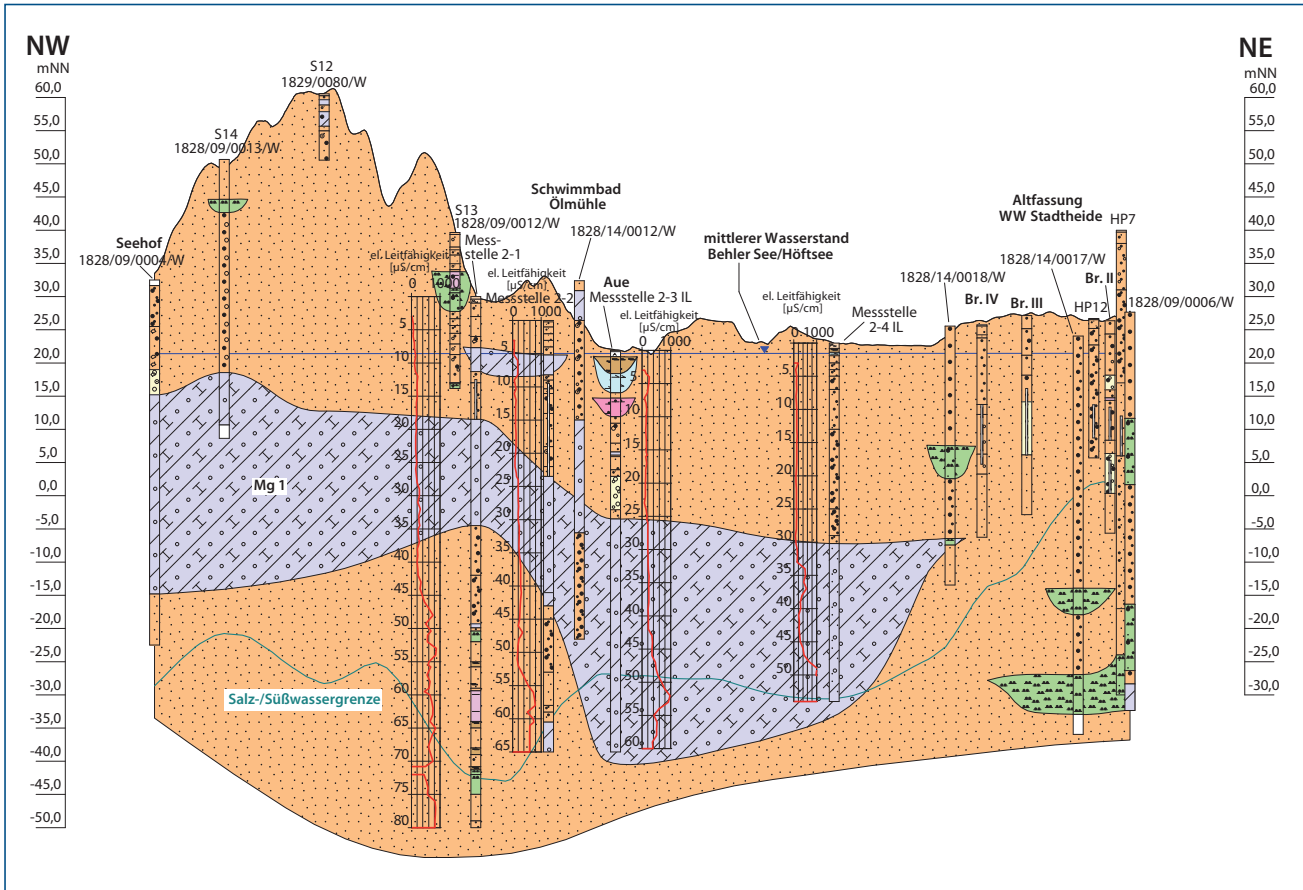


Abb. 9 Erkundungsstandorte (Schnitt)

durch das Transportmodell für diese Brunnenstandorte innerhalb weniger Jahre Chloridkonzentrationen simuliert, die die tolerable Grenze von 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Leitfähigkeit überschritten. Infolgedessen wurde von einer weiteren Betrachtung dieser beiden Standort-szenarien abgesehen.

### Erkundung der Vorzugsvariante durch Bau von „dry hole“-Pegeln und Grundwassermessstellen

Nach Ausweisung der Vorzugsvariante wurde ein Detailerkundungsprogramm für diesen Standort geplant und ausgeführt. An jedem der vier potenziellen späteren Brunnenstandorte wurden je eine Grundwassermessstelle und ein „dry hole“-Pegel gebaut. Mit dem „dry hole“-Pegel wurde die Salz-/Süßwassergrenze erkundet bzw. ihre Lage in Bezug auf die geoelektrischen Messungen validiert. Die Grundwassermessstellen wurden jeweils im vorgesehenen Nutzwasserhorizont vollkommen verfiltrert.

Die „dry hole“-Pegel waren, da sie die tiefsten Bohrungen darstellten, an jedem

Standort zuerst zu bohren, um ein komplettes Schichtenprofil für den Standort zu erhalten. Des Weiteren wurden während der Bohrarbeiten meterweise Bodeneluatsversuche zur Messung der Leitfähigkeit durchgeführt. Als Bohrziel wurde für alle Standorte die Leitfähigkeitsmarke von 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  angesetzt. Diese Experimente wurden an den flachen Bohrungen (Grundwassermessstellen) nicht wiederholt. Nach Fertigstellung der Bauarbeiten wurden des Weiteren an jedem der vier Standorte ein Pumpversuch (Leistungs- und Aquifertest) durchgeführt. Während jeder Pumpstufe war eine Grundwasserprobe zu entnehmen, während der letzten (Langzeit-)Pumpstufe zwei. Die Grundwasserproben wurden einer umfangreichen Analyse unterzogen zur Charakterisierung des Grundwassers am Standort sowie zum Nachweis der Schadstofffreiheit.

### Pumpversuche und Grundwasserbeprobungen

An jedem der vier Erkundungsstandorte wurde ein mehrstufiger Pumpver-

such als Test der Brunnenleistung sowie zur Ermittlung hydraulischer Aquiferkennwerte gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 111 durchgeführt. Die Pumpversuche wurden mit Förderraten bis zu 15  $\text{m}^3/\text{h}$  (entsprechend der modellierten Maximalentnahme am späteren Brunnen) über eine Dauer von 48 h durchgeführt. Die Wasserstände wurden darüber hinaus für weitere 48 h während der Wiederanstiegsphase gemessen. Die Auswertung der Pumpversuche erfolgte mit Hilfe eines stationären Auswerteverfahrens. Weiterhin fanden während der Pumpversuche am Ende jeder Pumpstufe Grundwasserbeprobungen statt. Zur Kontrolle der Hintergründwerte wurden auch in den Seen die Leitfähigkeiten des Wassers gemessen.

Die Pumpversuche ergaben, insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass nur geringe Wassermengen pro Standort gefördert werden sollen, eine problemlose Eignung der Erkundungsstandorte unter hydraulischen Gesichtspunkten. Durch die Grundwasserbeschaffenheit wurde die Eig-

nung der Brunnenstandorte jedoch zumindest teilweise eingeschränkt. Der östlichste Explorationsstandort, an dem die geringsten Wasserstandsgradienten auftraten, wurde durch hohe Methan- und Phosphatkonzentrationen auffällig und wurde entsprechend verworfen. Die drei übrigen Standorte erwiesen sich unter dem Aspekt der Grundwasserbeschaffenheit als geeignet, jedoch mit partiellen Einschränkungen wie höheren Leitfähigkeitswerten an zwei dieser Standorte, die jedoch auf hohe Wasserhärten zurückzuführen waren und mit der Versalzung durch Natriumchlorid nicht in Zusammenhang stehen. Infolge der Erkundungsergebnisse wurde für diese drei Standorte der Neubau von Förderbrunnen beschlossen (Abb. 9).

**Fazit**

Im Rahmen eines Variantenvergleichs konnten mit Hilfe der Erkundungsergebnisse wie auch der numerischen Modellierung geeignete Brunnenstandorte gefunden werden. Folgende Standortkriterien stellten sich in Bezug auf eine nachhaltige Bewirtschaftung des begrenzten Süßwasservorrats als vorteilhaft dar:

- hohe horizontale Strömungsgradienten,
- hohe Grundwasserneubildung, ggf. auch durch Uferfiltration,
- flächendeckend vorhandene Grundwassergeringleiter als Trennschicht zwischen Förderhorizont und salzwasserführendem Aquifer,
- Verteilung der projektierten Förderraten in möglichst vielen, lateral weitläufig verteilten Förderbrunnen bei möglichst großem vertikalen Abstand zwischen Salzwasseroberfläche und Brunnenfilter (geringe Fördertiefe).

**Literatur**

[1] DVGW (2004): *Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten.* – pp. 23, Technische Regel Arbeitsblatt W 107, Bonn

[2] FH–DGG (1999): *Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden.* – pp. 36, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft 10, Hannover

[3] FH–DGG (2002): *Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden mit Fallbeispielen.* – pp. 120, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft 24, Hannover

[4] Grossmann, J. (2006): *Anwendung und Optimierung des TUB-BGR-Verfahrens zur Berechnung der Grundwasserneubildung.* – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50, 178-183

[5] Lehné, R. J. (2005): *Rezente Bodenbewegungspotenziale in Schleswig-Holstein (Deutschland) – Lokalisierung und Quantifizierung durch GIS-Analysen, seismische Interpretation, Fernerkundung, statistische Auswertung und Feldarbeit.* – pp. 231, Dissertation, Institut für Geowissenschaften, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

[6] Manhenke, V., Reutter, E., Hübschmann, M., Limberg, A., Lückstädt, M., Nommensen, B., Peters, A., Schlimm, W., Taug, R., Voigt, H.-J. (2001): *Hydrostratigrafische Gliederung des nord- und mitteldeutschen kanozoischen Lockergesteinsgebietes.* – Zeitschrift für angewandte Geologie 47, 146-152

[7] Wessolek, G., Duijnsveld, W. H. M., Trinks, S. (2004): *Ein neues Verfahren zur Berechnung der Sickerwasserrate aus dem Boden: Das TUB-BGR-Verfahren.* – In: Bronstert A., Thieken A., Merz, B., Rohde, M., Menzel, L. (Hrsg.):

*Wasser- und Stofftransport in heterogenen Einzugsgebieten.* – Forum für Hydrologie Wasserbewirtschaftung, Heft 05.04, Beiträge zum Tag der Hydrologie, Band 1: 135-145, Hennef

Abbildungen: Abb. 1-3, 5-9: CONSULAQUA, Abb. 4: Geophysik GGD GmbH

**Autoren:**

Dr.-Ing. Jens Wagner  
Holsteiner Wasser GmbH

Bismarckstr. 67-69  
24534 Neumünster  
Tel.: 04321 49 90-411  
Fax: 04321 49 90-499

E-Mail:  
j.wagner@holsteinerwasser.de  
Internet: www.holsteinerwasser.de

Dipl.-Geol. Sören Kathmann  
Dipl.-Geol. Kai-Justin Radmann  
CONSULAQUA Hamburg  
Beratungsgesellschaft mbH

Billhorner Deich 2  
20539 Hamburg  
Tel.: 040 7888-3033  
Fax: 040 7888-2784

E-Mail:  
KRadmann@consulaqua.de  
Internet: www.consulaqua.de





## Ihr Partner für den Brunnenbau

		<p style="color: blue; font-weight: bold; margin: 0;">MODERNSTE AUSBAUTECHNIK SEIT ÜBER 125 JAHREN</p>
		
		

**STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH**  
 Hemmersweg 80 • D-33397 Rietberg (Varensell)  
 Tel.: 05244 / 407-0 • Fax: 05244 / 1670  
 Internet: [www.stuewa.de](http://www.stuewa.de)  
 E-Mail: [info@stuewa.de](mailto:info@stuewa.de)