

# **Schlussbericht**

BMBF-Forschungsvorhaben  
Förderkennzeichen 02WCL1217D

## **Verbundvorhaben**

EWATEC-COAST  
CLIENT Vietnam – Verbundprojekt Technologien zum nachhaltigen  
Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam

### **Teilvorhaben Nr. 4**

Teilprojekt TP4 Grundwasser

### **Teilprojektleiter:**

Dr. Stephan Lange

### **Sachbearbeiter:**

Dr. Quang Dung Lam

**Institut für Wasserwirtschaft IfW GmbH  
Adam-Opel-Str. 4  
38112 Braunschweig**

Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2012 - 30.06.2015, kostenneutral verlängert bis 31.10.2015

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WCL1217D gefördert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Kurze Darstellung</b> .....	<b>1</b>
1. Aufgabenstellung .....	1
1.1 Aufgabenstellung TP4 - Grundwasser .....	4
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	4
3. Planung und Ablauf des Vorhabens .....	5
4. Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn zu TP4 .....	7
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	9
<b>II. Eingehende Darstellung</b> .....	<b>10</b>
1. Wissenschaftliche Ergebnisse des TP4 .....	10
2. Zahlenmäßiger Nachweis .....	69
3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	69
4. Voraussichtlicher Nutzen .....	71
5. Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen ...	71
6. Veröffentlichungen .....	72
<b>Anhang zu Teilprojekt 4</b> .....	<b>73</b>

Anmerkung: Die Gliederung des umfangreichen Kapitels II.1 „Wissenschaftliche Ergebnisse des TP4“ ist auf den Seiten 10 und 11 dargestellt.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht: EWATEC-COAST Technologien zum Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam, Teilprojekt 4 Grundwasser	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Quang Dung Lam, Stephan Lange, Günter Meon	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2015
	6. Veröffentlichungsdatum 31.05.2016
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Institut für Wasserwirtschaft IfW GmbH Adam-Opel-Str. 4 38112 Braunschweig	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 02WCL1217D
	11. Seitenzahl 130
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 46
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 29
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Teilprojekt 4 des Forschungsvorhabens EWATEC-COAST befasste sich mit den folgenden Aspekten: 1. Erstellung eines Grundwassermodells; 2. Darstellung der Strömungsdynamik und Höhen der Grundwasseroberfläche für die Zeitscheiben 1986-2005 (Vergangenheit), 2013-2014 (Gegenwart) und 2046-2065 (Zukunft). Im vorliegenden Schlussbericht werden die wesentlichen Ergebnisse detailliert dargestellt. Auf der Grundlage von verfügbaren und selbsterhobenen Daten und einem konzeptionellen hydrologischen Modell wurde ein Grundwassermodell für ein Untersuchungsgebiet aufgebaut, das dem Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses und dessen Umland entspricht. Das Modell wurde so konzipiert, dass es mit einem ökohydrologischen Modell (PANTA RHEI) gekoppelt werden konnte, welches von TP3 entwickelt wurde. Die Kalibrierung erfolgte an Beobachtungsbrunnen mit einer hohen Auflösung der Grundwasserdaten aus eigenem Monitoring in einem Zeitraum von April 2013 bis April 2014. Mit dem kalibrierten Modell wurde das Grundwasserverhalten der Vergangenheit (1986-2005) mit der Zukunft unter Klimaänderung (2046-2065) verglichen. Einige Hauptergebnisse dieser Arbeit sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Bereich des Thi Vai Flusses konnten geringe Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und dem Flusswasser beobachtet werden.</li> <li>• Anhand der verfügbaren Daten konnten keine erhöhten Salzkonzentrationen in dem an das Ästuar angrenzenden Grundwasserleiter nachgewiesen werden.</li> <li>• Der Niederschlag ist der dominierende Faktor in Bezug auf das Grundwasserverhalten der Messstationen im Binnenland des Untersuchungsgebietes.</li> <li>• Die Veränderung der Grundwasserstände zwischen den betrachteten Zeiträumen in der Vergangenheit und Zukunft sind nicht signifikant.</li> </ul> Das kalibrierte Grundwassermodell eignet sich gut, die Grundwasserdynamik im Untersuchungsmodell darzustellen. Es ist prognosefähig und bietet sehr gute Möglichkeiten mittels zusätzlicher Daten erweitert und detaillierter parametrisiert zu werden.	
19. Schlagwörter CLIENT, EWATEC-COAST, Grundwasser, Simulationsmodell, Grundwassermodellierung, Thi Vai Ästuar, Klimaänderung, Vietnam	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN oder ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Endreport
3. title Endreport: <b>Technologies for Water and Environment Protection of Coastal Zones in Vietnam</b> Subproject 4 Groundwater	
4. author(s) (family name, first name(s)) Quang Dung Lam, Stephan Lange, Günter Meon	5. end of project 31.10.2015
	6. publication date 31.05.2016
	7. form of publication
8 performing organization(s) (name, address)  Institut für Wasserwirtschaft IfW GmbH Adam-Opel-Str. 4 38112 Braunschweig	9. originator's report no.
	10. reference no. 02WCL1217D
	11. no. of pages 130
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 46
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 29
16 supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract Subproject 4 of research project EWATEC-COAST dealt with 2 main aspects: 1. Development of a groundwater model; 2. Model based analysis of daily groundwater levels and dynamics for the time slices 1986-2005 (past), 2013-2014 (presence) und 2046-2065 (future). This final report displays the relevant results in detail. On the basis of current data available including data from an own monitoring network and a conceptual hydrogeological model a groundwater model was developed for a study area, corresponding with the catchment area of the Thi Vai River and its vicinity. The model was set up and coupled with the ecohydrological model PANTA RHEI developed by SP3. The calibration was built on groundwater monitoring data with a high temporal resolution measured during a monitoring campaign from April 2013 until April 2014. The calibrated model was used to simulate the groundwater behavior for the time periods 1986-2005 (past), 2013-2014 (presence) and 2046-2065 (future), which then were compared and evaluated.  Some of the main results of this project are:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• In the area of the Thi Vai estuary, small interactions between groundwater and river water could be observed</li> <li>• Based on the available data, no evidence could be found for elevated salinity of the groundwater body adjacent to the estuary</li> <li>• Precipitation tends to be the main factor for the behavior of groundwater in the study area</li> <li>• The rise or decline between groundwater levels of different time slice show no significant changes</li> <li>• Water extraction from the groundwater system can overlay by far the effects of climate change on groundwater levels</li> </ul> The groundwater model is capable to display the dynamics of the groundwater system in the study area. The numerical model and the simulation methods have the ability of prognosis and can be expanded and enhanced by further data and parametrization.	
19. keywords CLIENT, EWATEC-COAST, groundwater, simulation model, groundwater model, Thi Vai estuary, climate change, Vietnam	
20. publisher	21. price

# I. Kurze Darstellung

## 1 Aufgabenstellung

Das Projekt "EWATEC-COAST" (Technologien zum nachhaltigen Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam) wurde im Rahmen des Förderprogramms "CLIENT" durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie von der Vietnam National University, Ho-Chi-Minh-Stadt, (VNU-HCMC) im Zeitraum zwischen dem 1.7.2012 und dem 30.6.2015 (mit Verlängerung ohne zusätzliche Kosten bis zum 31.10.2015) gefördert.

Die Untersuchungsgebiete sind das stark verschmutzte Ästuar des Thi Vai Flusses und der angrenzende Can Gio Mangrovenwald. Beide Lokationen liegen südöstlich von Ho-Chi-Minh-Stadt.

Von ca. 80 Unternehmen, meist in Industrieparks entlang des Thi Vais angesiedelt, werden bis heute täglich ca. 34.000 m<sup>3</sup> Abwasser, teilweise ohne ausreichende Reinigung, eingeleitet. In der Folge auch ungenehmigter Einleitungen wurde der Thi Vai Fluss ab 1995 als ökologisch tot eingestuft. Der Can Gio Mangrovenwald (seit 2000 als Biosphärenreservat ausgewiesen) ist besonders durch Erosion, Sedimentation, Abwasser und Ölverschmutzung in Mitleidenschaft gezogen. Erst in den letzten Jahren hat sich die Wasserqualität leicht verbessert, da erste Überwachungs- und Reinigungsinitiativen greifen. Eine umfassende Strategie für die nachhaltige Sanierung fehlt jedoch noch.

Als Gesamtziel von EWATEC-COAST wurde die Entwicklung, Bereitstellung und der Einsatz von Wasser- und Umwelttechnologien sowie Dienstleistungstools im Rahmen eines Managementsystems definiert.

Aus dieser Vorgabe ergaben sich für das Projektgebiet zwei Schwerpunkte: erstens die Entwicklung und der Einsatz eines modellbasierten "Managementsystems" für nachhaltigen Gewässer- und Umweltschutz mit den Teilprojekten Meteorologie und Klimawandel, Oberflächenwasser, Grundwasser, Mangrovenökosystem, aquatische Organismen und Küstenschutz und zweitens die Implementierung innovativer Wassertechnologien mit dem Teilprojekt industrielle Wasserwirtschaft für die Industrieabwasserreinigung (exemplarisch für Gerbereiabwasser) mittels einer mehrstufigen Pilotanlage.

Ein Modellsystem zur Beschreibung und Modellierung der Luftverschmutzung in der Thi Vai Region wurde im Rahmen von Teilprojekt 2 erarbeitet.

Die daraus abgeleiteten Arbeitspakete wurden in neun miteinander vernetzte Teilprojekte TP1 bis TP9 aufgeteilt und transdisziplinär von Partnern aus Hochschulen und Industrie bearbeitet (vgl. Abb. 1-1).

Förder- kennzeichnen FKZ nach BMBF	CLIENT Vietnam – Verbundprojekt Technologien zum nachhaltigen Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam (EWATEC-COAST)	
	Forschungsnehmer	Teilprojekte
02WCL1217A	Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Leichtweiß – Institut für Wasserbau (LWI), Abt. Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz ( <b>HYWAG</b> )	<b>Teilprojekt 1</b> Koordination und Kommunikation,  <b>Teilprojekt 3</b> Oberflächenwasser, <b>Teilprojekt 5</b> Mangrovenökosysteme, <b>Teilprojekt 6</b> Aquatische Organismen
02WCL1217B	Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Liebigstraße 87, 32657 Lemgo,	<b>Teilprojekt 2</b> Meteorologie und Klimawandel – Luftqualität und  <b>Teilprojekt 8</b> Industrielle Wasserwirtschaft, Reinigung von Gerbereiabwasser – Gesamtanlage mit Anaerobreaktor
02WCL1217C	Universität zu Köln,	<b>Teilprojekt 2</b> Meteorologie und Klimawandel
02WCL1217D	Institut für Wassermanagement IfW GmbH	<b>Teilprojekt 4</b> Grundwasser
02WCL1217E	Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)	<b>Teilprojekt 7</b> Küstenschutz
02WCL1217F	enviplan  Ingenieurgesellschaft mbH	<b>Teilprojekt 8</b> Industrielle Wasserwirtschaft, Reinigung von Gerbereiabwasser – Mikroflotation zur Feststoffabtrennung
02WCL1217G	A3 Water Solutions GmbH	<b>Teilprojekt 8</b> Industrielle Wasserwirtschaft, Reinigung von Gerbereiabwasser – Membran-Bioreaktor zur Nachbehandlung
02WCL1217H	IWUD-Ingenieure für Wasser, Umwelt und Datenverarbeitung	<b>Teilprojekt 9</b> Strukturen des Managementsystems einschließlich Datenbank

Abb. 1-1. Partner aus Hochschulen und Industrie im EWATEC-COAST Projektnetzwerk.

Die Integration der Teilprojekte TP1 bis TP9 erfolgte im Managementsystem (vgl. Abb. 1-2).

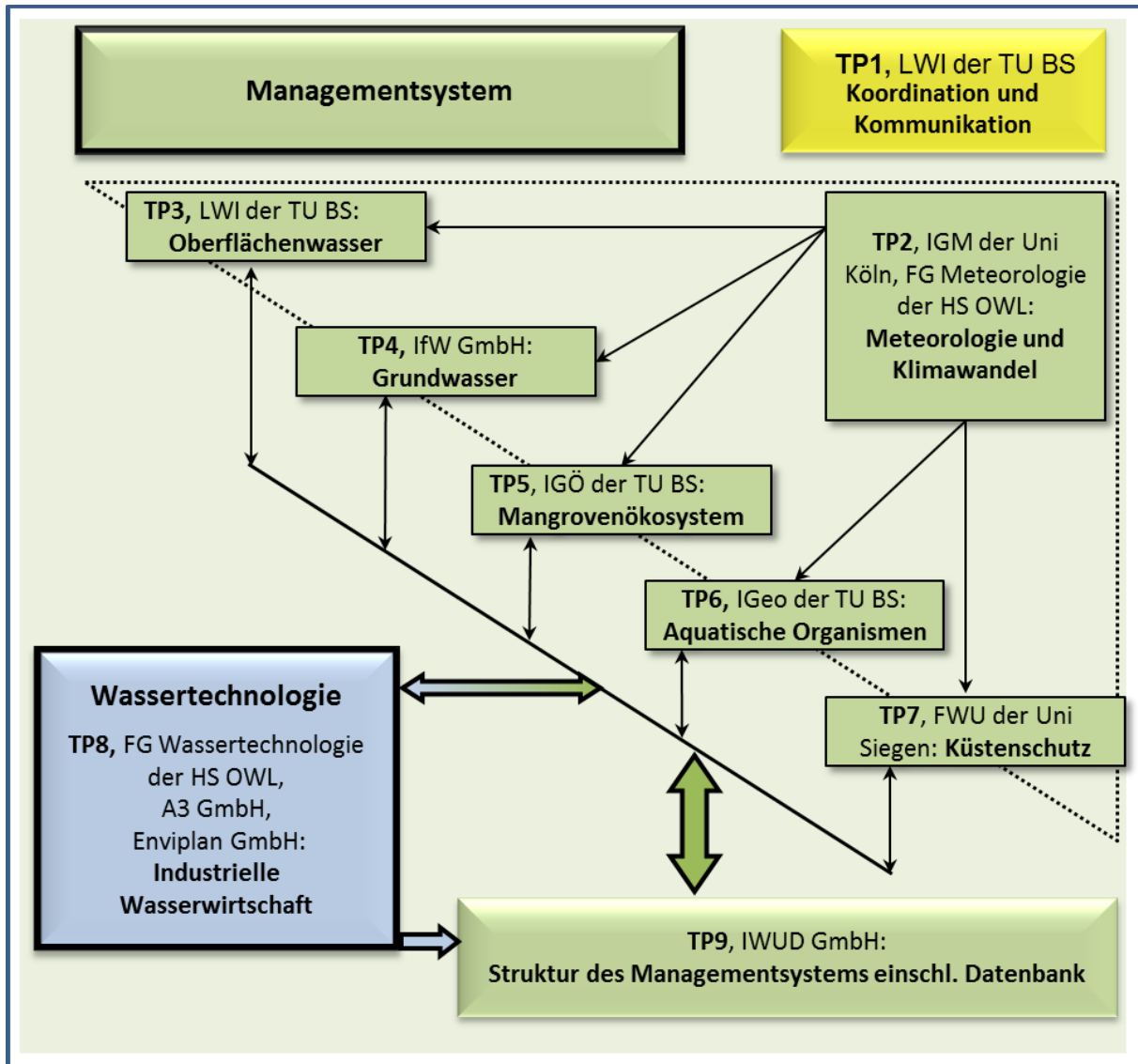


Abb. 1-2. Managementsystem und Netzwerk der Teilprojekte in EWATEC-COAST.

Das Institut für Wassermanagement IfW GmbH bearbeitete im **Teilvorhaben 4** – das Teilprojekt TP4 „Grundwasser“ mit dem Förderkennzeichen 02WCL1217D.

## 1.1 Aufgabenstellung TP4 - Grundwasser

Das Ziel des TP 4 war die Entwicklung, Bereitstellung und Inbetriebnahme eines komplexen Grundwassermodells mit Planungstools für den Lockergesteinsgrundwasserleiter der südvietnamesischen Küstenlandschaft Can Gio und Thi Vai. Mit dem Modell sollte der Einfluss der Klimaänderung und der anthropogenen Einwirkungen auf das Grundwasser im Küstenraum nach Menge und Qualität quantifiziert werden. Mit dem Modell sollte nach Möglichkeit die Wirksamkeit von technischen und anderen Schutzmaßnahmen quantifiziert werden. Das entwickelte Modell sollte in das Managementsystem, das unter Teilprojekt TP 9 entwickelt werden sollte, eingebunden werden. Für die Untersuchung wurden die Untersuchungsgebiete

- Mangrovenwald mit sich ändernden Wasserhaushalten (Wasseraustausch und Drainage) und Wasserqualitäten (Salinität),
- Ländliche Zone mit sich ändernden Wasserhaushalten und fluss- oder tideinduzierten Grundhochwässern,
- Küstenzone mit zunehmender Salzwasserintrusion

in einem Gesamtmodell betrachtet und in einem numerischen Modell aufgebaut.

Bei den überwiegend holozänen und pleistozänen Binnenland- und Küstengrundwasserleitern in Südvietnam handelt es sich zum großen Teil um geschichtete Porenaquifere aus marinen und fluvialen Sedimenten mit niedrigem Speichervermögen und sich kleinräumig ändernden Durchlässigkeiten. Die Aquifere werden in der Regenzeit durch infiltrierendes Niederschlagswasser aufgefüllt und stehen im ständigen Austausch mit dem teilweise stark verschmutzten Gewässersystem und dem Ästuarbrackwasser. Binnenhochwässer und Tidehub und die damit verbundenen Wasserflüsse machen eine raum- und zeitdifferenzierte Betrachtung notwendig.

## 2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung des Projektes war die enge Zusammenarbeit zwischen den Teilprojektpartnern sowie die Zusammenarbeit mit den vietnamesischen Partnern, insbesondere mit dem Institute for Environment and Resources (IER) der Vietnam National University HCMC und den Departments of Natural Resources and Environment (DONRE) der Provinzen. Während des Aufbaus des Grundwassermodells wurden auch Kontakte zum SOUTHERN INSTITUTE OF WATER RESOURCES RESEARCH (SIWRR) des MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT VIETNAM aufgebaut und Daten und Wissen über die Grundwasserverhältnisse in der Untersuchungsregion ausgetauscht.

Die häufigsten und intensivsten Kontakte wurden mit den Mitarbeitern des IER gepflegt, die in der Anfangsphase wesentlich an der Auswahl und Einrichtung der Grundwassermessstellen beteiligt waren. Die Zusammenarbeit erfolgte über den wissenschaftlichen Koordinator des IER, Herrn Dr. Quan Nguyen. Sein wissenschaftlicher Mitarbeiter Herr Mai Thang war im Folgenden verantwortlich für die Wartung und Auslesung



der Datenlogger der Grundwassermessstellen. Die Arbeiten und regelmäßigen Treffen mit dem IER haben wesentlich zum Erfolg des Projektes beigetragen und sind in diesem Zusammenhang als vorbildlich zu bezeichnen.

Darüber hinaus trug die Koordination der Projektpartner mittels strategischem und administrativen Management (Finanzadministration, Berichterstattung, Meetings, Förderung weiterer Vernetzung), strikter Qualitätssicherung, transparenter Öffentlichkeitsarbeit sowie Trainingsaktivitäten für Nachwuchswissenschaftler aus den Partnerländern, zum Erfolg des Projektes wesentlich bei. Dies wurde u.a. auch durch die Einrichtung der EWATEC-COAST Kontaktgruppe (EWATEC-COAST Contact Group – ECCG) mit Einbindung des TP 4 gewährleistet, die aus Mitgliedern der vietnamesischen und deutschen Projektkoordination bestand und die untereinander jederzeit kommunizieren konnte. Mit der Einrichtung der ECCG wurde gewährleistet, dass Fragen oder Probleme in der jeweils anderen Arbeitsgruppe möglichst ohne Zeitverzug den Verantwortlichen der Partner vermittelt werden konnte. Die ECCG war somit in der Lage zwischen deutschen und vietnamesischen Partnern zu vermitteln, bestehende Kontakte zu unterstützen, wie auch neue Kontakte auszubauen.

Innerhalb eines interkulturell aufgestellten Projektes musste die schnelle und eindeutige Kommunikation gewährleistet sein. Insbesondere die durch kulturelle Unterschiede bedingten unterschiedlichen Konzepte der Wahrnehmung, des Denkens, Fühlens und Handelns und der daraus möglicherweise entstehenden Missverständnisse oder Fehlinterpretationen, konnten durch enge Absprache zwischen den Projektkoordinatoren der beteiligten Länder schnell korrigiert gelöst werden.

Dies gilt naturgemäß auch für die Kommunikation zwischen den einzelnen Fachgebieten, d.h. den einzelnen Teilprojekten. Hierzu wurden nicht nur regelmäßige Projekttreffen initiiert, sondern es wurde gewährleistet, dass die Gesprächskanäle zu den Teilprojektleitern jederzeit offen waren und für die Projektkoordination am LWI der TU Braunschweig somit die Erreichbarkeit möglich war.

### **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Projekt EWATEC-COAST hat laut Bewilligung am 1. Juli 2012 begonnen und sollte bis zum 30. Juni 2015 abgeschlossen sein. In den ersten Monaten liefen Vorarbeiten, eine kontinuierliche Bearbeitung lief aufgrund der Personalsituation ab Januar 2013 an.

Der Ablauf des Teilprojektes TP 4 „Grundwasser“ wurde wie folgt gegliedert:

#### **Phase 1: (Juli 2012 – Dezember 2012)**

- Treffen mit den wesentlichen internen und externen Ansprechpartnern
- Grobkonzeption der Grundwassermodellierung
- Abstimmung der Arbeitspläne und der Kooperationsverträge mit den deutschen und vietnamesischen Projektpartnern (alle TP)
- Kick-Off-Meeting in Vietnam (9. bis 11.10.2012)
- Konzeptualisierung des Modellsystems

## **Phase 2: (Januar 2013 – März 2013)**

- Vorauswahl von geeigneten Grundwassermessstellen
- Investitionen in Messgeräte und Bau- sowie Arbeitsmaterial für den Ausbau von Messstellen
- Beginn der Durchführung des Messstellenausbaus

## **Phase 3 : (April 2013 bis Dezember 2013)**

- Ausstattung der ausgewählten Messstellen mit Messgeräten und Datenloggern
- Inbetriebnahme der Messgeräte und Durchführung des kontinuierlichen Monitorings
- Erste Auswertung der Monitoringdaten
- Aufbau des konzeptionellen Grundwassermodells
- Überführung des aufgebauten konzeptionellen in ein numerisches Modell

## **Phase 4: (Januar 2014 – Dezember 2014)**

- Erstellung eines lauffähigen Grundwassermodell mit der Software FEFLOW 6
- Fortführung und Auswertung des Monitorings der Grundwasserstände
- Untersuchungen zur Salzwasserintrusion an ausgewählten Brunnen im Gebiet
- Datenanalyse im Austausch mit TP 7
- Analyse der Entwicklung der Ökosysteme während der letzten Jahrzehnte (Thi Vai-Fluss, Mangrovenwald) mit Fokus auf das Grundwasser anhand der Ergebnisse aus den Sedimentkernen (TP6)
- Kalibrierungsrechenläufe

## **Phase 5: (Januar 2015 – Mai 2015)**

- Finale Auswertung der Ergebnisse aus Feld- und Laborversuchen
- Finale Auswertung der Modellkalibrierung und Validierung
- Anwendung des Grundwassermodells auf unterschiedliche Simulationszeiträume, historisch (1986-2005), Gegenwart (2013-2014) und nahe Zukunft (2046-2065)
- Auswertung und Darstellung der Modellergebnisse

## **Phase 6: (Juni 2015 – Oktober 2015)**

- Simulation der Szenarien
- Einbringung der Ergebnisse in das Managementsystem
- Training der vietnamesischen Partner
- Berichterstellung

Alle Teilprojekte waren in unterschiedlichen Arbeitspaketen miteinander verknüpft und in ihrer Ausführung somit zeitlich voneinander abhängig. Mit dem Arbeitsstand zum 31. Oktober 2014 lagen die meisten der Teilprojekte hinter dem im Antrag formulierten Zeitplan etwas zurück.

Allen Projekten gemeinsam war der Zeitverzug zwischen dem Beginn gemäß Bewilligung – 1. Juli 2012 – und dem tatsächlichen Beginn der Arbeiten. Auch das Teilprojekt TP 4 war von diesem Zeitverzug betroffen.

Während der Projektlaufzeit haben sich dann besonders im Jahr 2014 aufgrund von Ereignissen, die zum größten Teil nicht durch die Projektpartner zu verantworten sind, weitere kleinere Zeitverzögerungen ergeben. Die Zeitverzögerungen entstanden nicht nur durch unvorhergesehene Ereignisse wie z.B. Unfälle, Diebstähle, Technikausfälle etc., sondern auch durch neue Erkenntnisse aus dem selbsterhobenen und gelieferten Datenmaterial aus Vietnam.

Daraus abgeleitet wurde im November 2014 eine Laufzeitverlängerung ohne finanzielle Aufstockung um 4 Monate bis 31.10.2015 beantragt. Diese wurde mit Schreiben vom 1.4.2015 schriftlich durch das BMBF bewilligt.

Die finale Version des Managementsystems einschließlich Ergebnisse aus dem TP 4 wurde im Mai 2016 an die vietnamesischen Partner und Nutzer – verbunden mit einem Training – übergeben.

#### **4 Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn zu TP4**

Bei den überwiegend holozänen und pleistozänen Binnenland- und Küstengrundwasserleitern in Südvietnam handelt es sich zum großen Teil um geschichtete Porenaquifere aus marinen und fluvialen Sedimenten mit niedrigem Speichervermögen und sich kleinräumig ändernden Durchlässigkeiten. Die Aquifere werden in der Regenzeit durch infiltrierendes Niederschlagswasser aufgefüllt und stehen im ständigen Austausch mit den teilweise stark verschmutzten Fließgewässern und dem Ästuarbrackwasser. Binnenhochwässer und Tidehub und die damit verbundenen Wasserflüsse machen eine raum- und zeitdifferenzierte Betrachtung notwendig.

Vor allem für Binnenwassereinzugsgebiete in Mitteleuropa wurden schon mehrfach hydrodynamische Modelle des Oberflächenabflusses mit dem Grundwasser gekoppelt, zum Beispiel von Koch et al. (2007). Es gibt aber kaum Modellanwendungen, welche die Oberflächenhydrologie und Hydrodynamik der verzweigten, tidebeeinflussten Fließgewässer und Ästuarbereiche in der Wechselwirkung mit dem Küstengrundwasser holistisch abbilden. Hier sollte Forschungs- und Entwicklungsarbeit im TP 4 geleistet werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich die Übergangszone zwischen Grund- und Salzwasserkörper im Thi Vai im komplexen Fließgewässer-Ästuar-System durch Verstärkung von Dürreperioden mit stark verminderter Grundwasserneubildung oder durch ansteigenden Meerwasserspiegel signifikant verändern wird, was wiederum unmittelbare Auswirkungen auf den Zustand der Mangrovenbestände und Frischwasserquantität haben wird.

Neben den Prozesskenntnissen zur Meeres- bzw. Salzwasserintrusion und den tideinduzierten Phänomenen sind auch die Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasserreservoir und den Oberflächengewässern (Fließ- und Küstengewässer) für das Managementsystem von entscheidender Bedeutung. Dabei spielen die seewärts gerichteten Grundwasserabflüsse (Submarine Groundwater Discharge) aus dem Küstengrundwasserleiter eine große Rolle (Oberdorfer, 2003; Swarzenski et al., 2004; Santos, 2008). Untersuchungen zu Tidezirkulationen und deren Auswirkungen auf Mangrovenbestände sind sehr begrenzt. Hierzu gibt es wenige Publikationen u.a. von USGS-Forschungsprojekten vor allem aus der Region Florida (USGS-Pacific Coastal & Marine Science Center; Masterson et al., 2011; Payne, 2010). Von großer Bedeutung sind die Erkenntnisse von Greenwood et al. (2006) hinsichtlich der Mangroven-Untergrundsalinität.

Zur Modellierung der o.g. Prozesse entwickelte der US Geological Survey den Finite-Elemente- SUTRA- Code (Voss, 1984) und wendet diesen auch in zahlreichen Studien an (Payne, 2010). Der SUTRA-Code ist wohl das am häufigsten angewandte Berechnungsprogramm zur Simulation von Meerwasserintrusionen. Weitere Programm-Codes sind das ebenfalls vom USGS entwickelte MODFLOW, HST3D, das FEMWATER (Lin et al., 1997) sowie das SEAWAT (Langevin, 2009) und das renommierte deutsche 3D-Grundwassermodell Modell FEFLOW (Diersch, 2009).

Als Grundwassermodell wurde für EWATEC-COAST das Modellsystem (Software) FEFLOW ausgewählt. Durch die Option der automatischen Netzverfeinerung und -vergrößerung sind mit FEFLOW auch große Regionalmodelle bearbeitbar. Das Programm kann GIS- und CAD-Daten in allen Modellierungsschritten importieren und exportieren, beispielsweise als Grundlage für die Netzgenerierung, Parameterzuweisung, Randbedingungsdefinition, etc. Klassische Grundwasserströmungsmodelle, wie z.B. das Programm MODFLOW, verwenden die Finite-Differenzen-Methode und besitzen „nur“ klassische PCG-Löser, nicht aber einen dem Algebraischen Multigrid-Gleichungslöser (Diersch, 2009) vergleichbaren Löser. Für das Pre-Processing bietet das Statistikprogramm UNCERT (Colorado School of Mines, Wingle et al., 1999) mit geeigneten Interpolationstechniken die Möglichkeit, auch komplexe hydrogeologische Strukturen zu rekonstruieren und gleichzeitig „Datenlücken“ unter Ausweisung der damit verbundenen Minderung der Aussagekraft zu überwinden.

Gegenstand aktueller Forschung sind Modellanwendungen auf komplexe Geometrien und die Interaktionen mit Fließ- und Küstengewässern. Weiterhin besteht erheblicher Bedarf an Erfahrungen mit großräumigen, dichteabhängigen Berechnungsgebieten mit komplexen Randbedingungen über längere Zeitperioden (z.B. stündlicher Tideeinfluss und langfristige Meeresspiegelanstiege). Es ist vorgesehen, die Randbedingungen für die Sedimentaquifere in den Untersuchungsgebieten mit verfügbaren Einzelmodellen und vorhandenen Kopplungsverfahren, die angepasst werden müssen, (Monninkhoff & Kaden, 2007; Koch, 2007) abzubilden. Als Herausforderung gilt in diesem Zusammenhang die Bewältigung langer Simulationsperioden bei gleichzeitiger Berücksichtigung kurzzeitiger Prozesse. Hierzu sind bereits vorhandene zeitadaptive Konzepte weiterzuentwickeln. Ein vorhandener Ansatz basiert auf einer adaptiven Zeitschrittsteuerung in Abhängigkeit von der Salinität.

Für die Modellräume im Mangrovenwald und in der ländlichen Zone ist eine physikalisch-numerisch korrekte Behandlung der Freispiegelströmung mit all den notwendigen

Randbedingungen zu gewährleisten. Hierzu bietet das ausgewählte Grundwassermodell eine adaptive, in vertikaler Richtung ausgerichtete Netzanpassung an, die sogenannte Best-Adaptation-to-Stratigraphic-Data-Technik (BASD, Diersch, 2009).

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die vor der Projektantragsphase bestehenden Kontakte zu Forschungseinrichtungen in Vietnam hatten wenig Bezugspunkte zu dem Thema Grundwasser. Daher konnten vor Beginn des Projektes keine belastbare Aussagen zu den vorherrschenden geologischen und hydrogeologischen Bedingungen in dem ausgesuchten Untersuchungsgebiet erhalten werden. Auch entsprechende Literaturrecherchen führten nur zu Dokumentationen, die überwiegend das Mekongdelta mit Bezug zum Thema Grundwasser abgebildet haben.

Gemeinsame Diskussionen mit vietnamesischen Wissenschaftlern der National University of Ho-Chi-Minh City, Institute for Environment and Resources (IER), haben in der Folge zu den im Projektantrag gemachten Annahmen über die hydrogeologischen Verhältnisse geführt, die in der Projektbearbeitung bestätigt werden konnten.

Letztendlich war die erfolgreiche Beantragung und Abwicklung des Projektes nur über die enge und sehr gute Zusammenarbeit zwischen den deutschen und vietnamesischen Partnern möglich:

Deutsche Partner für das Teilprojekt TP 4 (IfW GmbH) waren:

- Technische Universität Braunschweig, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz (HYWAG) am Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI)
- Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie
- Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)

Vietnamesische Partner waren:

- National University of Ho Chi Minh City, Institute for Environment and Resources (IER)
- DONRE-Department of Natural Resources and Environment of Ba Ria Vung Tau Province
- DONRE-Department of Natural Resources and Environment of Dong Nai Province
- Southern Institute of Water Resources Research (SIWRR) des Ministry of Agriculture and Rural Development, Vietnam

Einen bedeutenden Stellenwert für das Gesamtprojekt hatte vor allem auch die Zusammenarbeit während der in Ho-Chi-Minh Stadt veranstalteten Workshops in den Jahren 2014 und 2015. Neben dem Beitrag zum Gesamtergebnis, gewährleistet durch das intensive Arbeitsprogramm, waren die Workshops eine wichtige Form der Öffentlichkeitsarbeit, da die Teilnehmer sowohl Interessenten der erzielten Ergebnisse als auch Multiplikatoren in ihrem Tätigkeitsumfeld waren.

## II. Eingehende Darstellung

### 1. Wissenschaftliche Ergebnisse des TP4

1.1	Gegenstand und Grundlagen	15
1.2	Methodik und Bearbeitungsgrundlagen	16
1.2.1	Modellanforderungen	16
1.2.2	Modellgebiet und Betrachtungszeitraum	16
1.2.3	Grundwasserneubildung	17
1.3	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	18
1.3.1	Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	18
1.3.2	Geologische Verhältnisse	19
1.3.2.1	Verfügbare Daten	19
1.3.2.2	Bohrungen	20
1.3.3	Abgeleitete regionale Geologie	22
1.3.4	Hydrografische und hydrologische Verhältnisse	23
1.3.5	Grundwasserverhältnisse	24
1.3.5.1	Grundwassernutzungen und -entnahmen	24
1.3.5.2	Grundwasserstände	25
1.3.5.3	Grundwasserdynamik	28
1.4	Datenaufbereitung	29
1.4.1	Eingesetzte Werkzeuge	30
1.4.2	Übergebene Daten	30
1.4.3	Topographie	31
1.4.4	Grundwasserneubildung und einfließende Simulationen	31
1.4.4.1	Langjähriges Mittel der Grundwasserneubildung	33
1.4.5	Gewässernetz	34
1.4.6	Zeitinvariante Daten	35
1.5	Die Grundwassersoftware FEFLOW	36
1.6	Konzeptionelles Grundwassermodell	37
1.6.1	Überblick	37
1.6.2	Aufnahme und Analyse der Daten	38
1.6.3	Entwicklung des konzeptionellen Modells	38
1.6.3.1	Definitionsbereiche Domainen	38
1.6.3.2	Hydrostratigrafie	39
1.6.3.3	Aquifereigenschaften	39

1.6.3.4	Konzeptionelle Modellgrenzen	39
1.6.3.5	Belastungen	40
1.6.3.6	Physikalische Prozesse	40
1.6.3.7	Kontrolle des konzeptionellen Modells	40
1.7	Modellaufbau	41
1.7.1	Räumliche Diskretisierung und Netzgenerierung	41
1.7.2	Materialparameter	44
1.7.2.1	Datengrundlagen	44
1.7.2.2	Aquifergeometrie	44
1.7.2.3	Hydraulische Durchlässigkeiten	45
1.7.2.4	Effektive Porosität und Speicherkoeffizient	45
1.7.2.5	Transferkoeffizienten	45
1.7.3	Randbedingungen	46
1.7.3.1	Vorfluter	46
1.7.3.2	Wasserentnahme	48
1.7.3.3	Grundwasserneubildung	48
1.7.3.4	Anfangsbedingungen	49
1.7.3.5	Zeitliche Diskretisierung	49
1.7.3.6	Zu- und Abflüsse über die Ränder	49
1.8	Modellkalibrierung und -validierung	51
1.8.1	Allgemeine Informationen zur Kalibrierung	52
1.8.2	Modellgüte	53
1.8.3	Ergebnisse der Kalibrierung	53
1.8.4	Ergebnisse der Validierung	55
1.8.5	Problempunkte	57
1.8.5.1	Veränderungen des Sohl-niveaus im Gewässerverlauf	57
1.8.5.2	Nicht bekannte Entnahmemengen	58
1.8.5.3	Schwache Datenlage im östlichen Teil des Modellgebietes	58
1.8.5.4	Abschließende Betrachtung der instationären Kalibrierung	58
1.9	Einfluss des Klimawandels	59
1.9.1	Berücksichtigung der Klimaänderung	59
1.9.2	Simulationsergebnisse des Zukunftsszenarios (2046-2065)	60
1.9.3	Vergleich der vergangenen, derzeitigen und zukünftigen Wasserstände	63
1.10	Schlussfolgerung und Diskussion	64
1.11	Literaturverzeichnis	66

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Modellgebietes. ....	17
Abbildung 2: Digitales Höhenmodell – Daten vom DONRE Ba Ria-Vung Tau (2013). ....	19
Abbildung 3: Lage der Bohrungen (links) und beispielhafte Darstellung eines Bohrprotokolls mit Aufzeichnung der Stratigraphie (links). ....	20
Abbildung 4: Geohydrologische Karte der Provinz Ba Ria-Vung Tau, Bohrlokationen und Schnitfführungen (vgl. auch Abbildung 5). ....	22
Abbildung 5: Hydrogeologische Querprofile im Untersuchungsgebiet. ....	23
Abbildung 6: Übersichtskarte der Lage und Topographie des Thi Vai Einzugsgebietes und der untersuchten Teileinzugsgebiete in Südvietnam (zit.: Abschlussbericht TP3: LWI, 2016). ....	24
Abbildung 7: Darstellung der Lage der ausgesuchten Beobachtungsbrunnen (links), Beobachtungsbrunnen im Feld mit Darstellung der Auslesegeräte (oben rechts) sowie schematische Darstellung der Installation eines CTD-Divers (unten rechts). ....	26
Abbildung 8: Gemessene Grundwasserstände in dem Zeitraum zwischen April 2013 und April 2014 an den verschiedenen Beobachtungsbrunnen. ....	27
Abbildung 9: Vergleich der Grundwasserstände am Pegel DN30 mit der Dynamik des Thi Vai (Pegel Cai Mep). ....	29
Abbildung 10: Darstellung der Anwendungskompartimente der Modelle PANTA RHEI und FEFLOW. ....	32
Abbildung 11: Zuordnung der Ergebnisse der Grundwasserneubildung aus PANTA RHEI in die obersten Layer des FEFLOW-Modells (beispielhaft für eine Teilfläche). ....	33
Abbildung 12: Überblick über die installierten Monitoringstationen entlang des Thi Vai Ästuars (ohne Pegel Vung Tau) (zit.: Abschlussbericht TP3. LWI, 2016). ....	34
Abbildung 13: Konzeptualisierung eines hydrogeologischen Modells (Anderson und Woessner, 2000). ....	37
Abbildung 14: Supermesh – Räumliche Einordnung. ....	41
Abbildung 15: 2D- Ansicht – Finite Elemente Netz. ....	42
Abbildung 16: 3D- Ansicht – Finite Elemente Netz. ....	43
Abbildung 17: Randbedingungen des FEFLOW-Modells. ....	46
Abbildung 18: Darstellung der gemessenen Wasserstände an den Stationen Long Tho und Cai Mep für den Zeitraum Januar 2013 bis Mai 2014. ....	47
Abbildung 19: Darstellung der gemessenen Wasserstände an der Station Vung Tau für den Zeitraum Januar 2013 bis Mai 2014. ....	48
Abbildung 20: Kartenausschnitt Thi Vai Einzugsgebiet mit regionalem Grundwassergleichenplan (DONRE, 2013c). ....	50
Abbildung 21: Monitoring-Punkte für die Modellkalibrierung und -validierung. ....	51
Abbildung 23: Vergleich der kalibrierten und gemessenen Grundwasserstände an den 5 Beobachtungsbrunnen. ....	54
Abbildung 24: Darstellung der räumlichen Verteilung der Grundwasserstände. ....	55
Abbildung 25: Vergleich der validierten und gemessenen Werte für die Grundwasserstände an den 6 Beobachtungsbrunnen. ....	56
Abbildung 22: Darstellung der in PANTA RHEI berechneten täglichen Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 2046 bis 2065, exemplarisch für Teilfläche 108. ....	60
Abbildung 26: Simulierte Grundwasserstände an den verschiedenen Beobachtungsbrunnen für den Zeitraum 2046-2065. ....	61



Abbildung 27: Simulierte Grundwasserstände an den verschiedenen Beobachtungsbrunnen für den Zeitraum 2046-2065. ....	62
Abbildung 28: Vergleich der mittleren monatlichen Grundwasserstände an den Beobachtungsbrunnen NB1A, NB2A, VT2A und VT6. ....	63
Abbildung 29: Vergleich der täglichen Grundwasserneubildung für die Zeitperioden Vergangenheit (1986-2005) und Zukunft (2046-2065), exemplarisch für Teilfläche 108. ....	64

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Beobachtungsbrunnen für das Monitoring der Grundwasserstände .....	25
Tabelle 2: Vergleich von gemessenen Wasserspiegelhöhen in ausgewählten Grundwassermessstellen 2008 / 2014.....	28
Tabelle 3: Übersicht der Datenübergabe. ....	30
Tabelle 4: Mittelwerte der Klimadaten in mm/a für (1986-2005) und (2046-2065) – Rasterdaten mit simulierten Niederschlägen. ....	33

## **II.1 Wissenschaftliche Ergebnisse des TP4**

### **1.1 Gegenstand und Grundlagen**

Das mit dem vorliegenden Abschlussbericht dokumentierte Teilprojekt TP4 „Grundwasser“ ist Bestandteil des Verbundprojektes „Technologien zum nachhaltigen Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam (EWATEC-COAST)“ [Technologies for Water and Environment Protection of Coastal Zones in Vietnam].

Das Teilprojekt wurde im Zeitraum vom 30.09.2012 bis zum 31.10.2015 durch die Ingenieurgesellschaft Institut für Wassermanagement, IfW GmbH, Adam-Opel-Str. 4, 38112 Braunschweig, bearbeitet.

Die Zuwendungsbescheide des BMBF an die projektbeantragenden Stellen sowie die Ingenieurgesellschaft Institut für Wassermanagement, IfW GmbH, ergingen zum 30.06.2012 (BMBF, 2012a).

Das Ziel des TP 4 war die Entwicklung, Bereitstellung und Inbetriebnahme eines komplexen Grundwassermodells mit Planungstools für den Lockergesteinsgrundwasserleiter der südvietnamesischen Küstenlandschaft Can Gio und Thi Vai. Mit dem Modell sollte der Einfluss der Klimaänderung und der anthropogenen Einwirkungen auf das Grundwasser im Küstenraum nach Menge und Qualität quantifiziert werden.

Für die Untersuchung wurden die Untersuchungsgebiete

- Mangrovenwald mit sich ändernden Wasserhaushalten (Wasseraustausch und Drainage) und Wasserqualitäten (Salinität),
- Ländliche Zone mit sich ändernden Wasserhaushalten und fluss- oder tideinduzierten Grundhochwässern,
- Küstenzone mit zunehmender Salzwasserintrusion

in einem Gesamtmodell betrachtet und in einem numerischen Modell aufgebaut.

Für die Aufstellung und Kalibrierung des Grundwassermodells wurden sowohl vorhandene Daten aus Beobachtungsbrunnen für Grundwasserstände, elektrische Leitfähigkeiten, Ergebnisse geophysikalischer Prospektionen und Sedimentuntersuchungen, wie auch Daten aus eigenen Untersuchungen und dem Ausbau und Betrieb von Grundwassermessstellen verwendet.

## 1.2 Methodik und Bearbeitungsgrundlagen

### 1.2.1 Modellanforderungen

Das Grundwasserströmungsmodell soll künftige Nutzer bei der Planung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen unterstützen und dabei den aktuellen Systemzustand als Ausgangssituation beinhalten. Dafür wurden folgende Prämissen berücksichtigt:

- Das Modellgebiet wurde an den dominierenden Randbedingungen ausgerichtet, damit für alle Systemzustände in Lage und Wert klar definierte Modellrandbedingungen angegeben werden können, die durch im relevanten Modellgebiet durchzuführende bzw. durchgeführte Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht beeinflusst werden.
- Der Einfluss der Aquifergeometrie und die Randbedingungen wurden im Modell berücksichtigt und sind auch in Zukunft durch mögliche Erweiterungen leicht in die Betrachtungen einbeziehbar.
- Die Grundwasserneubildung wurde mit der am Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) entwickelten Software PANTA RHEI berechnet und in das Modell eingegeben (vgl. Programmbeschreibungen zu PANTA RHEI in Lorenz, 2016). Für künftige Zeiträume kann die Grundwasserneubildung z.B. unter Nutzung dieser Software vom Nutzer berechnet werden.
- Die Pflege des Modells kann einfach und unter möglichst kleinem Fehlerrisiko halbautomatisch erfolgen. Dabei können vorhandene Datenhaltungssysteme (Managementsystem) genutzt werden, um eine redundante Datenhaltung zu minimieren.

### 1.2.2 Modellgebiet und Betrachtungszeitraum

Das Modellgebiet ist in Abbildung 1 dargestellt. Um stabile Randbedingungen zu gewährleisten, wurde das Modellgebiet über das Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses hinaus ausgedehnt, so dass die westliche Randbedingung durch den Thi Vai gegeben ist. Am Ostrand des Modellgebietes waren keine eindeutigen Modellberandungen gegeben, so dass hier vorhandene Informationen aus langjährigen Messstellenbeobachtungen verwendet wurden. Am nördlichen Rand wurden, soweit haltbar, „no-flow“-Randbedingungen angesetzt. Die Strömung erfolgt quasi senkrecht zum Thi Vai, so dass keine modellrelevanten Ein- bzw. Austritte von Grundwasser über den Modellgebietsrand zu erwarten sind. Am südlichen Rand wurden die Wasserstände aus dem Verlauf der Meereswasserspiegel abgeleitet. Hierzu wurden Daten aus dem Teilprojekt „Küstenschutz“ übernommen. Die hydraulischen Verhältnisse wurden sowohl am nördlichen als auch am südlichen Rand durch Grundwassermessstellen beobachtet.

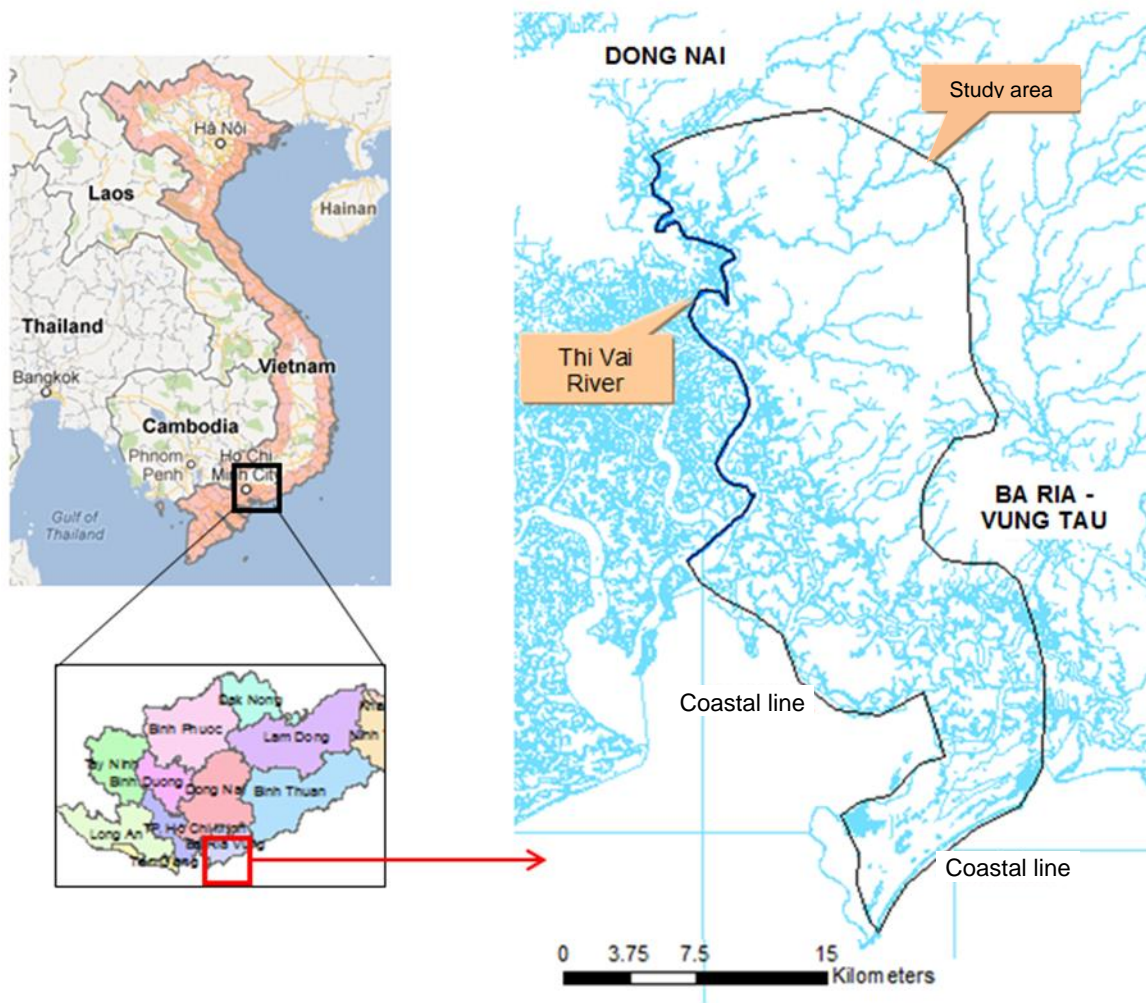


Abbildung 1: Lage des Modellgebietes.

Gemäß der vorhandenen Datensituation wurde das Modell über den Zeitraum von einem Jahr kalibriert und validiert. Das Modell wurde für den Zeitraum vom April 2013 bis zum April 2014 unter instationären Bedingungen - auf der Grundlage der verfügbaren Eingangsdaten sowie der aufgezeichneten Grundwasserstände - kalibriert.

Die Grundwasserströmungen wurden in Abstimmung mit anderen Teilprojekten von EWATEC-COAST für 3 unterschiedliche Zeitscheiben simuliert: Vergangenheit (1986 - 2005), Gegenwart (2013 - 2014) und Zukunft (2046 - 2065).

### 1.2.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist eine der maßgeblichen Bilanzgrößen des Grundwasserhaushalts. Problematisch ist deren räumliche und zeitliche, maßgeblich von den Klimagrößen Niederschlag und Verdunstung abhängige, Verteilung. In der Regel wird in Grundwassermodellen mit dem langjährigen Mittel der Grundwasserneubildung gearbeitet.

Sofern man aber die Modelle instationär kalibriert bzw. verifiziert und betreibt, ist es notwendig, den innerjährlichen Gang der Grundwasserneubildung zu berücksichtigen.

Mit dem Programm PANTA RHEI aus dem LWI stand eine Software zur Verfügung, die den innerjährlichen Gang der Grundwasserneubildung, ausgehend von Tageswerten des Niederschlages und der potentiellen Verdunstung verschiedener verfügbarer Stationen, berechnet hat. Dabei gehen neben der Landnutzung auch Bodenkenngößen, Flurabstand und die rezenten Managementmethoden ein.

## **1.3 Beschreibung des Untersuchungsgebietes**

### **1.3.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung**

Das Untersuchungsgebiet wird im Westen durch den Thi Vai Fluss und im Osten durch bekannte Informationen über den Grundwasserstand, die aus langjährig betriebenen Grundwasserbeobachtungsbrunnen abgeleitet wurden, begrenzt. Die nördliche Grenze des Modellgebietes verläuft in der Höhe der nördlichen Grenze des oberirdischen Einzugsgebietes des Thi Vai Flusses (vgl. Abschlussbericht des TP3: LWI, 2016). Im Süden und bis zur Mündung des Thi Vai Flusses in das Ästuar bildet die Uferlinie zum Südchinesischen Meer die Grenze.

Das Untersuchungsgebiet weist eine Fläche von ungefähr 625 km<sup>2</sup> auf und schließt Bereiche des Thi Vai Einzugsgebietes und Vung Tau Stadt ein.

Allgemein liegt Grundwasser in Vietnam in 4 Typisierungen vor, und zwar als Poren- oder Lockergesteinsgrundwasser, als Kluftgrundwasser, sowohl porös wie auch geklüftet-porös, sowie als Karstgrundwasser. Die räumliche Ausbreitung einiger Aquifere konzentriert sich dabei nicht nur auf Vietnam, sondern auch auf Nachbarländer.

Die Gliederung der Naturräume wird anhand der Geländehöhen deutlich. Während die Geländehöhen in der Nähe des Thi Vai Flusses zwischen 0 und 20 m ü. NN liegen, steigen sie in Richtung Nord-Osten bis auf etwa 300 m ü. NN an.

Durch anthropogene Eingriffe wurde das Landschaftsbild des Naturraums in einigen Bereichen stark überprägt. Dies betrifft sowohl das Gewässernetz (Anlage von Häfen und Kanälen, Begradigungen, Uferbefestigungen, Zuschütten von Altarmen usw.) als auch die Morphologie (Aufschüttungen im Bereich von Bauten und Verkehrswegen, Abraumhalden, sowie Auskiesungen).

## 1.3.2 Geologische Verhältnisse

### 1.3.2.1 Verfügbare Daten

#### Digitales Höhenmodell

Das digitale Höhenmodell wurde anhand von Höhendaten erstellt, die von dem Department of Natural Resources and Environment (Abk.: DONRE) der Provinz Ba Ria-Vung Tau bereitgestellt wurden (vgl. Abbildung 2).

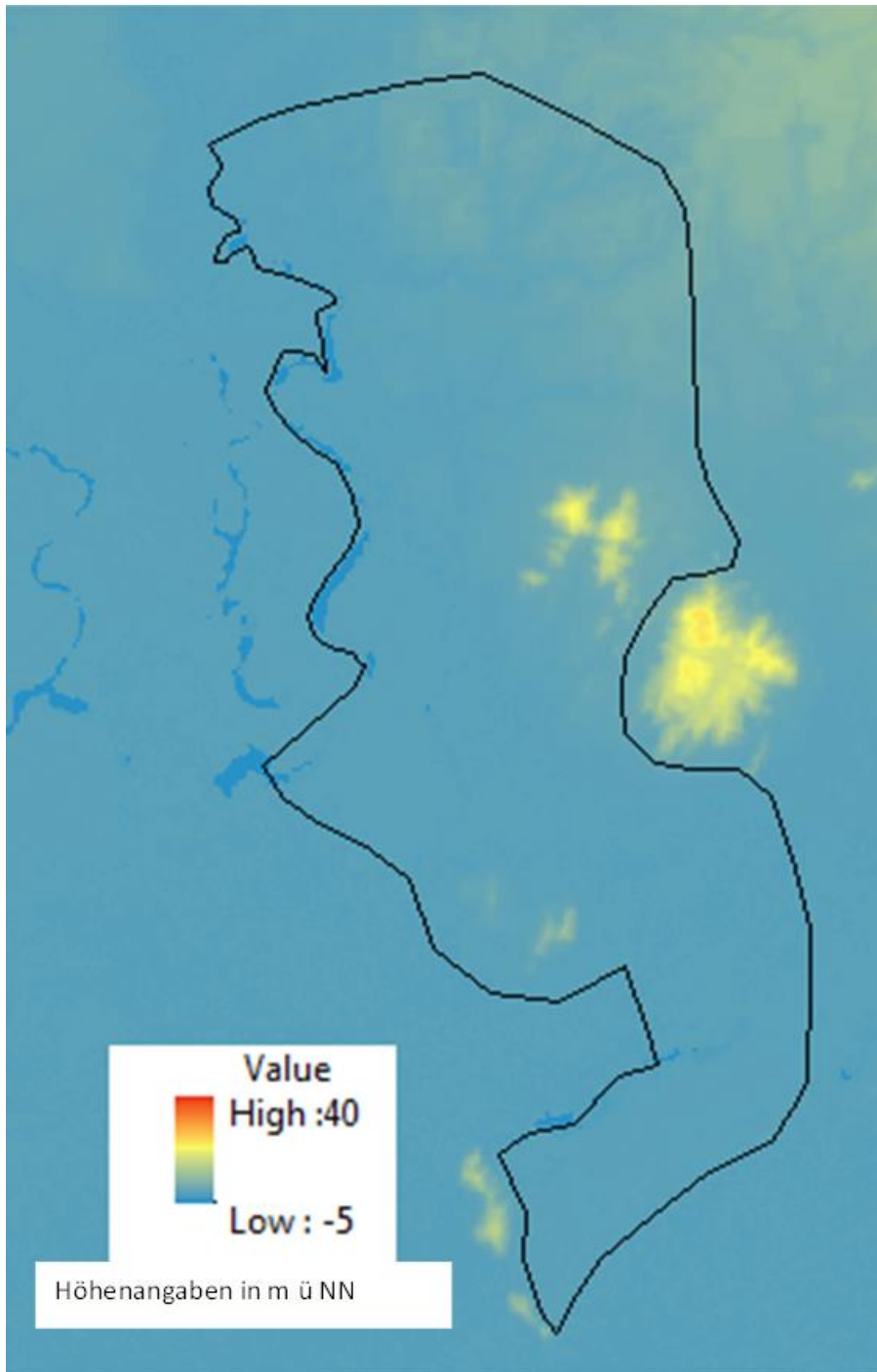


Abbildung 2: Digitales Höhenmodell – Daten vom DONRE Ba Ria-Vung Tau (2013).

Die Auflösung der Höhenkarte beträgt 90 x 90 m. Im Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses liegt die Höhe der Geländeoberfläche zwischen 0 und 38 m ü. NN, wobei die Höhe von Nordost bis Südwest abnimmt. Die Daten wurden für die Entwicklung des Grundwassermodells herangezogen.

Die oberste Scheibe (Slice) des Grundwassermodells stellt hierbei die Bodenoberfläche dar.

### 1.3.2.2 Bohrungen

Die vorhandenen Bohrungen waren eine wichtige Quelle für die Strukturmodellierung, ihre Beschaffung war daher ein wichtiger und aufwendiger Bestandteil der Recherchearbeit vor Ort.

Insgesamt konnten aus 55 verfügbaren Bohrungen, die vom DONRE Ba Ria – Vung Tau verwaltet werden, geologische und hydrogeologische Informationen abgeleitet werden, um sowohl Grundwasserleiter als auch grundwasserhemmende Schichten zu detektieren und im Grundwassermodell zu definieren (Abbildung 3).

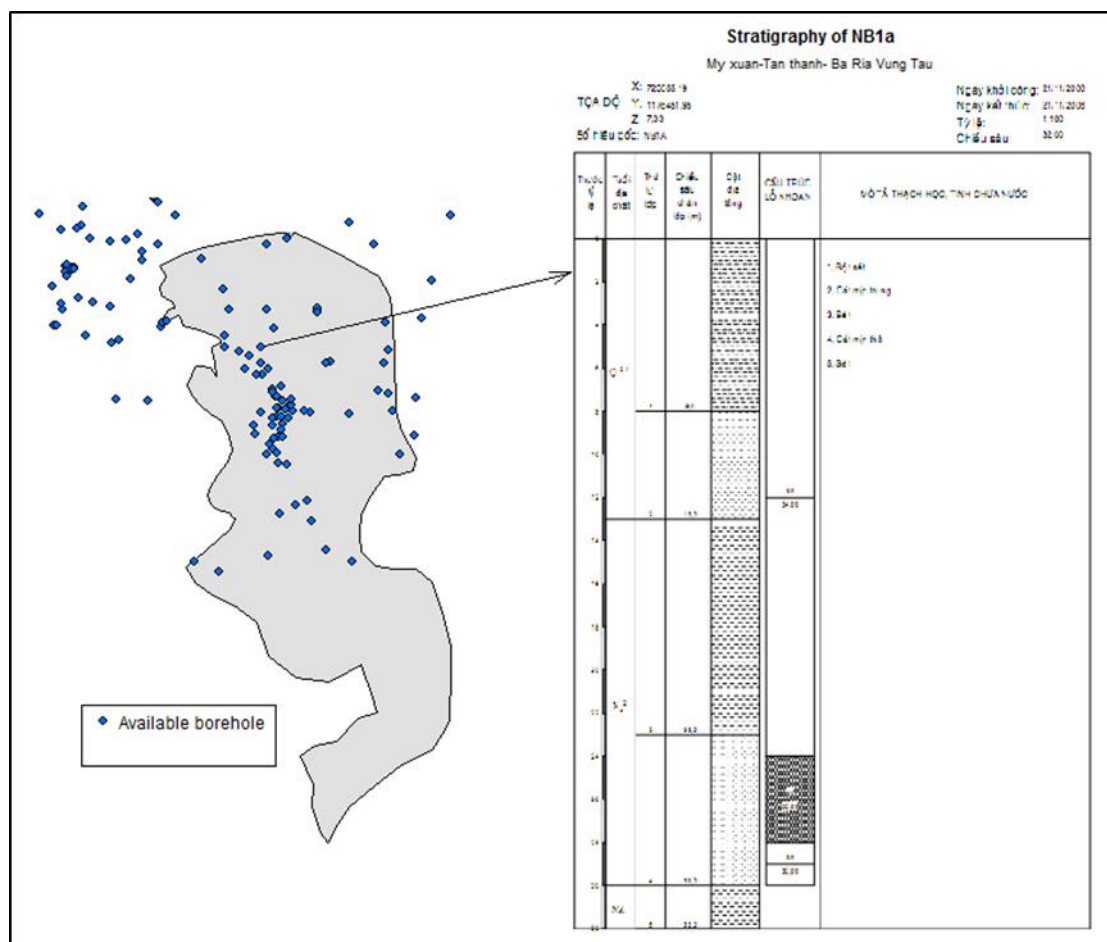


Abbildung 3: Lage der Bohrungen (links) und beispielhafte Darstellung eines Bohrprotokolls mit Aufzeichnung der Stratigraphie (links).

Die Tiefe der Bohrungen beträgt zwischen 6 und 75 m unterhalb der Geländeoberkante (m uGOK). Die Bohrungen wurden in den Jahren 1960, 1980 und 2014 ausgeführt, um die



Verfügbarkeit von Grundwasser sowie die Geologie im Gebiet des Thi Vai Flusses zu erkunden (DONRE, 2013b). Aus den Bohrprotokollen konnten neben den geologischen Informationen zum Teil auch Informationen über weitere relevante Aspekte abgeleitet werden (Lage des Brunnens, Tiefe des Brunnens, Flurabstand des Grundwassers, Abschätzung über die Förderrate des Brunnens). Sämtliche Informationen wurden sorgfältig bewertet, teilweise aus dem Vietnamesischen übersetzt und dann zur Modellbildung herangezogen.

## **Geohydrologische Informationen**

Die hydrogeologischen Informationen sind in Kartenform und als Querprofile des Untersuchungsgebietes in Abbildung 4 (Karte) und Abbildung 5 (Querprofil von Norden nach Süden) dargestellt. Diese Querprofile wurden von der Division of Water Resources Planning and Investigation for the South of Vietnam (DWRPIS) erstellt. Die Auswertung der drei hydrogeologischen Querprofile lieferte Einsichten in die bestimmenden hydrogeologischen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes. Dazu zählen die horizontale und vertikale Ausdehnung der hydrogeologischen Einheiten (Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer), die Verweilzeit des Grundwassers sowie die Höhe des Grundwasserspiegels.

Die Aquifere qp3 (oberes Pleistozän), qp23 (unteres und mittleres Pleistozän) und n2 (Pliozän) kommen im gesamten Gebiet vor und weisen eine Mächtigkeit zwischen 1 und 30 m auf. Die Parameter hydraulische Leitfähigkeit und spezifischer Speicherkoeffizient stellen dabei wichtige Parameter in Bezug auf die Ausbildung der Grundwasserströmung in dar. Des Weiteren beeinflusst auch die Transferrate zwischen dem Thi Vai Fluss und dem Grundwasser die Wasserbewegungen.

Aufgrund des ausgeprägten Mangels an verfügbaren Daten (siehe auch nächstes Kapitel), wurden diese Parameter für die verschiedenen Aquifere aus dem Mekong Delta Projekt abgeleitet (Uppenberg et al., 1997).

Die Werte für die hydraulische Leitfähigkeit und Porosität wurden somit im Modell zwischen 12 und 41 m/d (qp3 und qp23) bzw. 0,001 und 0,02 m/d (n2) angenommen.

## **Datenlücken**

Aufgrund des Mangels an Bohrungen im Süden des Untersuchungsgebietes wurden sowohl Informationen über die Stratigrafie als auch die hydrologischen Parameter von angrenzenden Regionen mit ähnlichen klimatischen und topografischen Bedingungen, Landnutzungen und Böden herangezogen.

Die Grundwasserentnahmen in der Region wurden bislang nicht aufgezeichnet, sodass für die Beschreibung im Modell der Zeitpunkt, der Zeitraum sowie das Volumen der Grundwasserentnahmen anhand von Befragungen der Kommunalverwaltung bestimmt wurden.

### 1.3.3 Abgeleitete regionale Geologie

In dieser Region haben die Sedimentation sowie die Über- und Unterschreitungen des Meeresspiegels über geologische Zeiträume hinweg, große Unterschiede in den Schichtkomplexen, bestehend aus Holozän (qh), oberem Pleistozän (qp3), unterem und mittlerem Pleistozän (qp23) sowie Pliozän (n2) verursacht (vgl. Abbildung 4).

Der Holozän-Komplex tritt vermehrt an der Oberfläche der gesamten Region auf und besteht aus tonigem Schluff, feinem Sand und organischem Material. Die Bohrungen, die in diesem Komplex abgeteuft worden sind, erreichen eine Tiefe von einigen wenigen Metern bis zu 16 m unterhalb der Geländeoberkante.

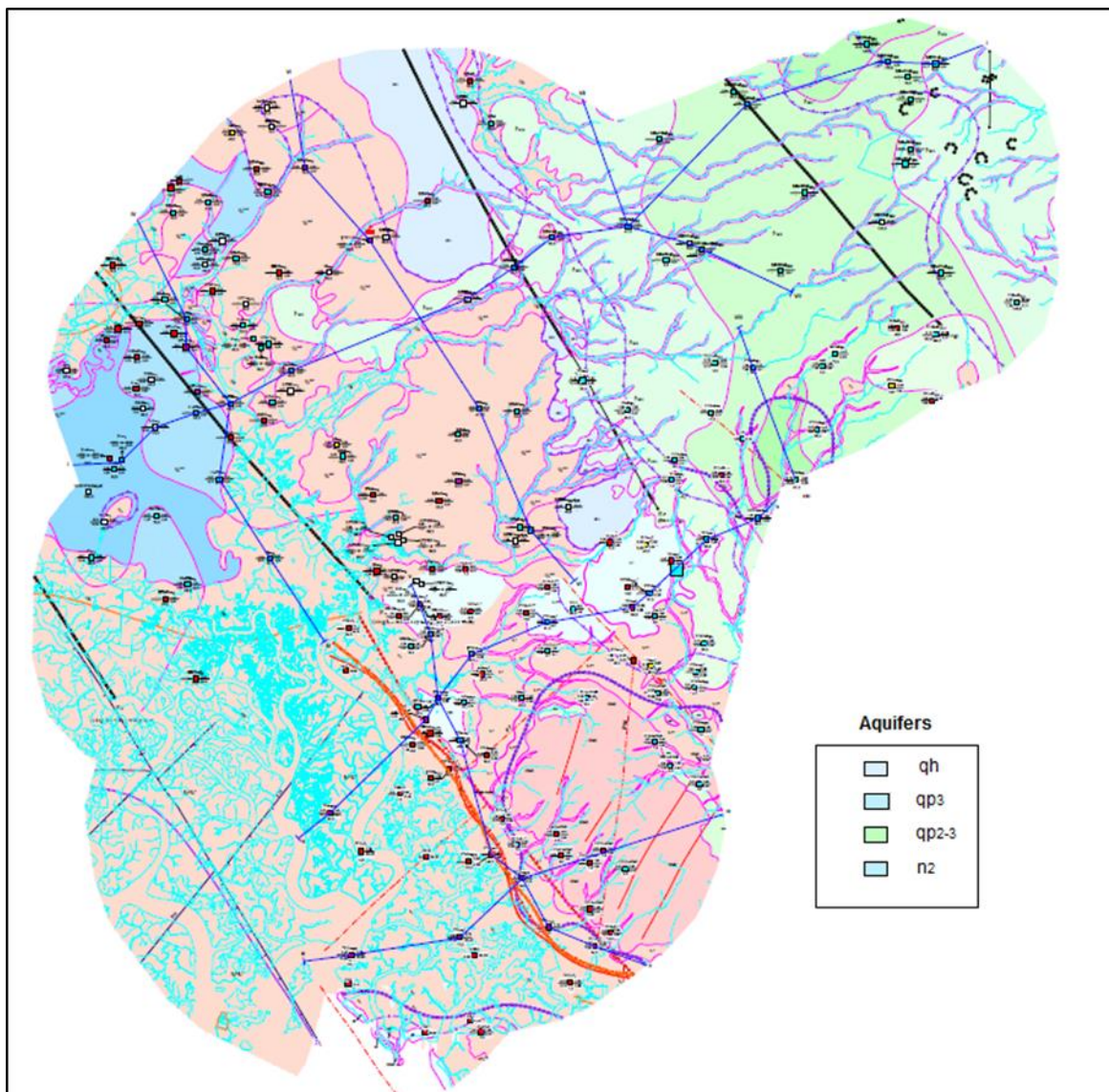


Abbildung 4: Geohydrologische Karte der Provinz Ba Ria-Vung Tau, Bohrlokationen und Schnitfführungen (vgl. auch Abbildung 5).

Der obere Pleistozän (qp3), welcher überwiegend von dem Holozän-Komplex (qh) überlagert wird, erstreckt sich ebenfalls weitläufig im gesamten Gebiet. Diese Ablagerung kann in zwei Teile untergliedert werden. Der obere Teil bildet eine grundwasserhemmende Schicht, die

aus Schluff, Ton und tonigem Schluff besteht. Der untere Teil besteht aus feinem bis groben Sand und weist eine Mächtigkeit von 2 bis 17 m auf.

Auch die untere und mittlere Pleistozän-Ablagerung (qp23) kann in zwei Teile gegliedert werden. Der obere Teil bildet eine grundwasserhemmende Schicht, die aus Ton und schluffigem Ton besteht. Der untere Teil ist ein gespannter Aquifer, der aus feinem bis groben Sand besteht und eine Mächtigkeit von 4 bis 15 m aufweist.

Der unterste Schichtenkomplex ist der Pliozän (n2), ein gespannter Grundwasserleiter, der aus feinem bis grobem Sand besteht und eine mittlere Mächtigkeit von 2 bis 34 m aufweist.

Im vorliegenden Strömungsmodell werden alle Schichtenkomplexe im Modell abgebildet. Als Sohle des unteren Aquifers wird die Oberkante des Festgesteinsockels - wechselnd Basalt, Sandstein und Sedimentgestein - angesetzt (vgl. Abbildung 5).

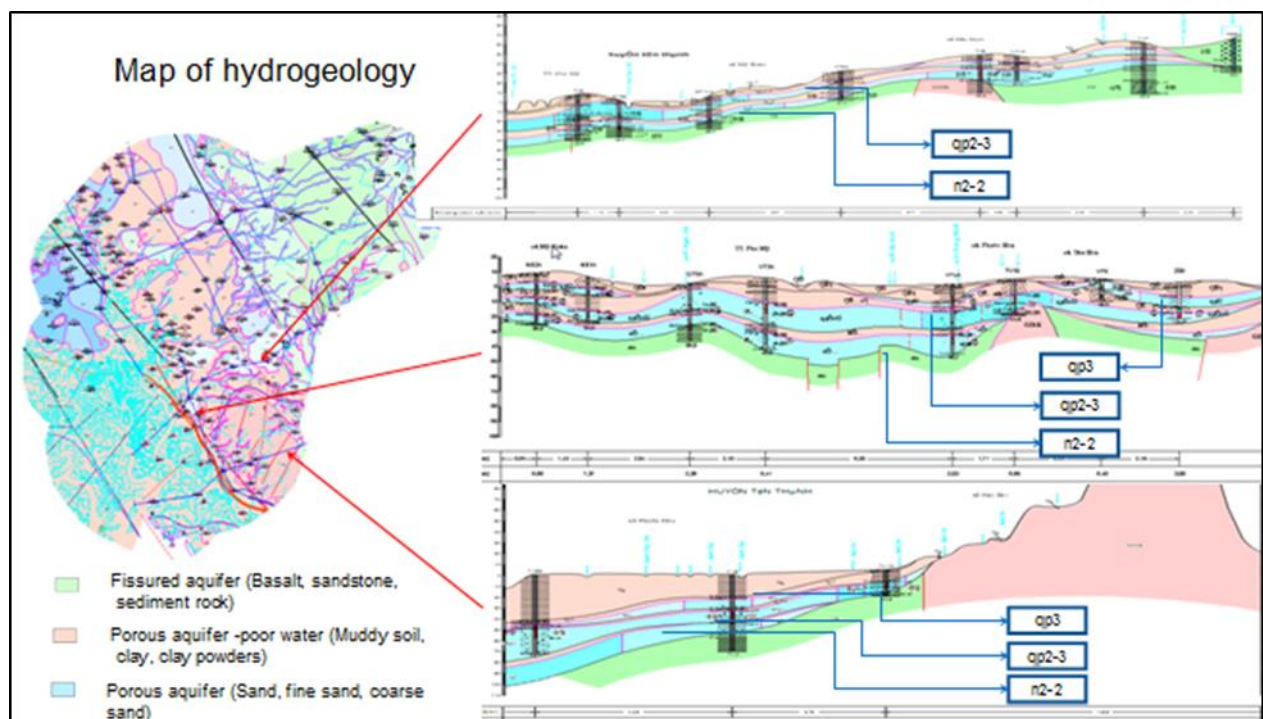


Abbildung 5: Hydrogeologische Querprofile im Untersuchungsgebiet.

### 1.3.4 Hydrografische und hydrologische Verhältnisse

Das Thi Vai Einzugsgebiet hat eine Größe von 625 km<sup>2</sup> und liegt in den Provinzen Dong Nai, Ba Ria-Vung Tau und Ho-Chi-Minh Stadt in Südvietsnam, ca. 1,5 Autostunden südöstlich von Ho-Chi-Minh Stadt. Der Thi Vai Ästuar entsteht aus dem Zusammenfluss zwischen dem Kanal Ba Ky und dem Zufluss Suoi Ca im Distrikt Long Thanh (Provinz Dong Nai). Nach einem Fließweg von 32 km vereinigt sich der Thi Vai zusammen mit dem Go Gia zum Fluss Cai Mep, der in das Südchinesische Meer mündet. Die bedeutendsten Zuflüsse des Thi Vai Flusses sind die Flüsse Bung Mon (27,6 km<sup>2</sup>), Suoi Ca (167,7 km<sup>2</sup>) und Cau Vac (59 km<sup>2</sup>) (Abbildung 6) (Lorenz, 2015).



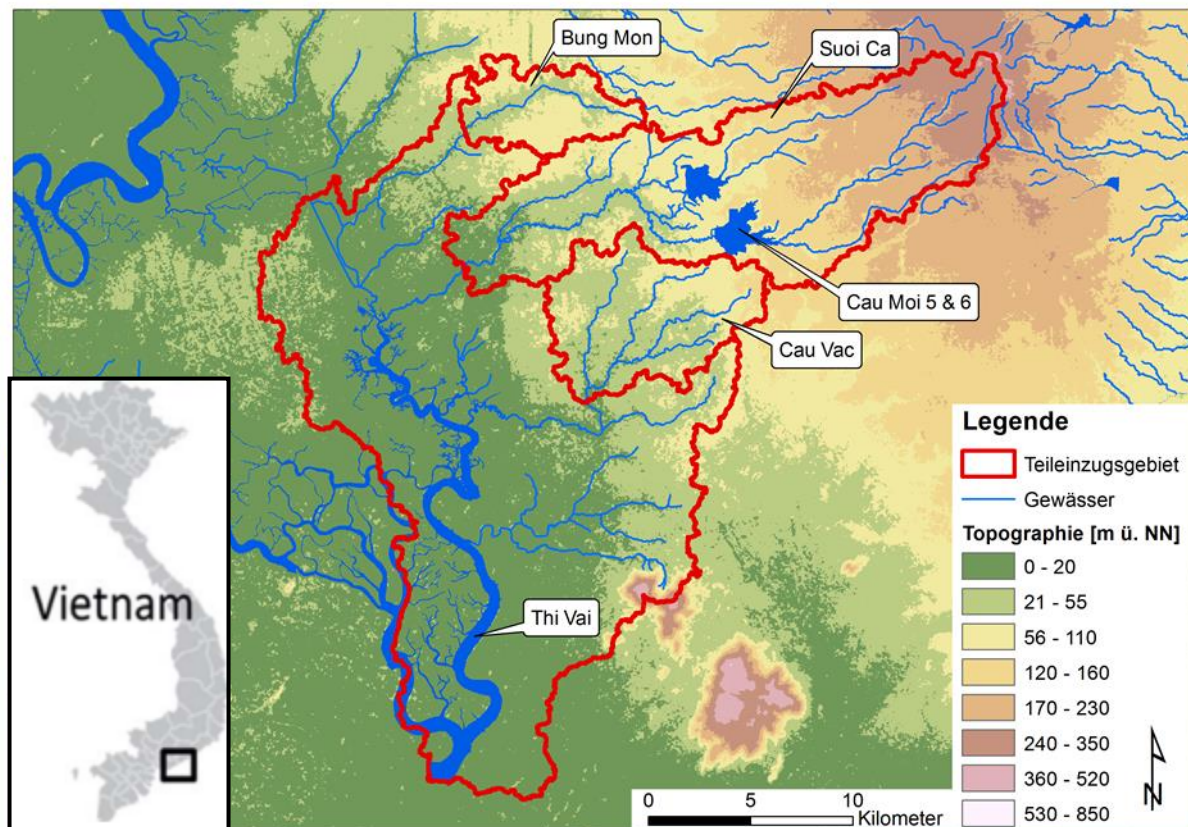


Abbildung 6: Übersichtskarte der Lage und Topographie des Thi Vai Einzugsgebietes und der untersuchten Teileinzugsgebiete in Südvietnam (zit.: Abschlussbericht TP3: LWI, 2016).

Im Oberlauf ist der Thi Vai noch relativ schmal und weist eine Breite von 100-200 m auf. Im Mittel- und Unterlauf entwickelt sich der Thi Vai zu einem ausgeprägten Ästuarsystem mit zahlreichen Verzweigungen, die teilweise noch von Mangrovenwäldern umsäumt sind. Der Thi Vai erweitert sich hier allmählich und besitzt eine mittlere Breite von 400-650 m. Die durchschnittliche Tiefe liegt bei 22 m, an der tiefsten Stelle, die sich im Unterlauf des Thi Vai befindet, bei bis zu 60 m. Das Thi Vai Ästuar steht unter dem Einfluss halbtägiger Gezeiten, die mit einem Tidehub von ca. 2-3 m einhergehen. Das Tideregime der Südchinesischen See hat dabei einen großen Einfluss auf das hydrologische Regime und den Stoff- und Geschiebetransport im Thi Vai Ästuar.

### 1.3.5 Grundwasserverhältnisse

#### 1.3.5.1 Grundwassernutzungen und -entnahmen

Für die Quantifizierung von Grundwasserentnahmen aus dem privaten, kommunalen, landwirtschaftlichen und industriellen Bereich standen keine Daten mit räumlich und/oder zeitlich exakt zuordnungsbarem Stempel zur Verfügung.

Aus dem Bericht "Research on groundwater levels in Ba Ria-Vung Tau province" von Le Van Hai (2008) geht hervor, dass die Grundwasserentnahmen für die Trinkwasserversorgung, Industrien und Landwirtschaft zwischen 413 und 51.575 m<sup>3</sup>/d liegen.

Der Distrikt Tan Thanh fördert 51.575 m<sup>3</sup>/d, gefolgt von der Stadt Ba Ria (27.029 m<sup>3</sup>/d) und Vung Tau (413 m<sup>3</sup>/d).

Da im Untersuchungsgebiet, das nur eine kleinere Teilfläche der genannten Distrikte ausmacht, die Förderdauer und -rate bislang nicht untersucht bzw. gemessen worden ist, wird für das Modell eine Förderrate zwischen 2.000 und 2.500 m<sup>3</sup>/d angenommen.

### 1.3.5.2 Grundwasserstände

Langjährige Aufzeichnungen von Grundwasserständen konnten von wenigen vorhandenen Beobachtungsbrunnen, die innerhalb des Projektgebietes liegen, bezogen werden (Abbildung 7). Diese Beobachtungsbrunnen sind in unterschiedlichen Tiefen und damit auch unterschiedlichen Aquifere verfiltert (qh, qp3, qp23, und n2 Aquifere).

Die Daten dieser vorhandenen Grundwassermessstellen für die Berechnung der Grundwasserströmung in der Zeitscheibe „Vergangenheit“ (1986 - 2005) waren teilweise nur eingeschränkt oder gar nicht für die Verwendung im Grundwassermodell verwendbar. Teilweise waren nur monatliche Daten - dann oft mit erheblichen Datenlücken - verfügbar, teilweise waren die Daten nur ohne Höhenbezug verfügbar (nur relative Aussagen möglich).

Daher wurde im Teilprojekt sehr frühzeitig (Dezember 2012) der Beschluss gefasst, diese Daten nicht für die Kalibrierung zu verwenden, sondern auf eigene Messungen zurückzugreifen. Zu diesem Zweck wurden als geeignet erscheinende, ausgesuchte Brunnen (vgl. Tabelle 1) mit Messgeräten der Firma Schlumberger Water Services ausgestattet (Schlumberger Water Services (SWS)'s Divers®).

Tabelle 1: Beobachtungsbrunnen für das Monitoring der Grundwasserstände

Name	Koordinaten		Höhenlage	Aquifer
	X (m)	Y (m)	Z (m)	
NB2A	421627.99	1177417	9.27	qp23
NB1A	422225.23	1175808.08	7.03	qp23
NB1B	422226.61	1175808.88	7.03	qp23
VT2A	427346.71	1176666.49	37.42	qp23
NB3B	422158.17	1171467.98	5.89	qp3
QT7A	422988.93	1169908.54	1.12	qp23
NB4	432664.17	1169976.21	28.25	qp23
VT4	424812.39	1166143.3	1.7	qp3

VT6	427277.65	1162934.4	5.09	qp3
VT7A	426886.65	1146610.73	4	qh
DN30	415370.49	1179962.08	1.47	n2

Für die Messung des Grundwasserspiegels, der Temperatur und der Salinität wurde je Brunnen ein CTD-Diver installiert (Abbildung 6), der die Grundwasserstände automatisch in einem 15-Minuten-Intervall aufgezeichnet hat. Diese Grundwasserstandsdaten wurden alle zwei Monate ausgelesen. Im Anschluss erfolgte eine Analyse der Daten sowie eine Fehlerbereinigung. Die Ergebnisse der gemessenen Grundwasserstände sind beispielhaft für den Zeitraum von einem Jahr zwischen April 2013 und April 2014 in der Abbildung 8 dargestellt.

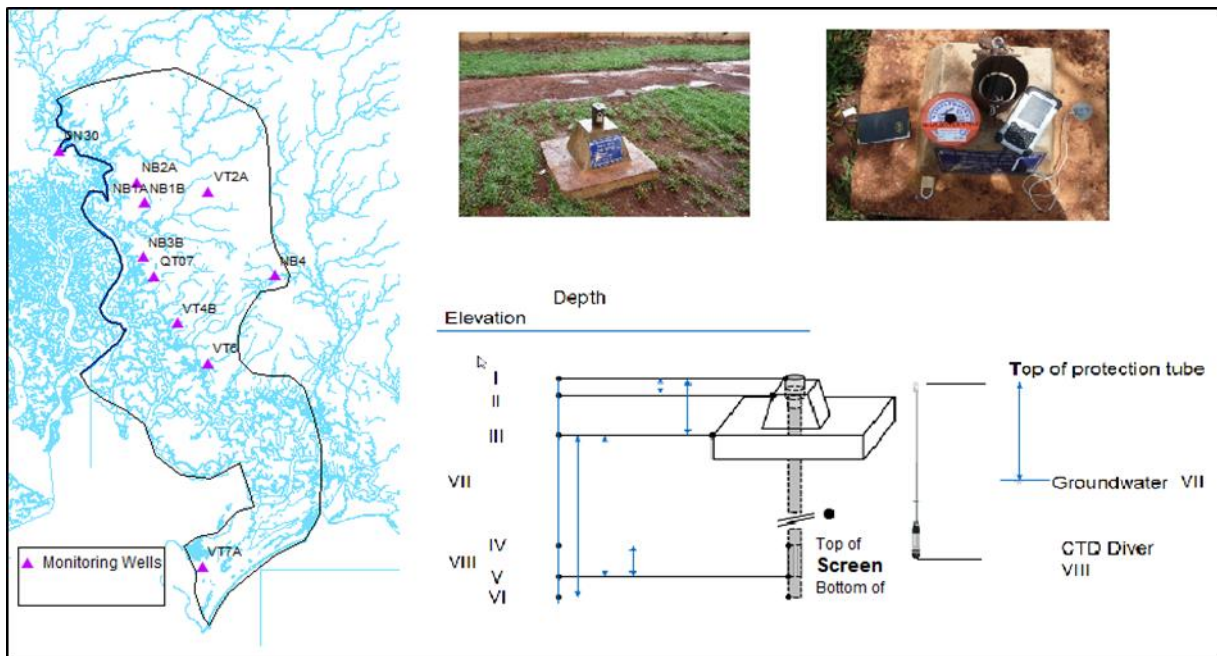


Abbildung 7: Darstellung der Lage der ausgesuchten Beobachtungsbrunnen (links), Beobachtungsbrunnen im Feld mit Darstellung der Auslesegeräte (oben rechts) sowie schematische Darstellung der Installation eines CTD-Divers (unten rechts).

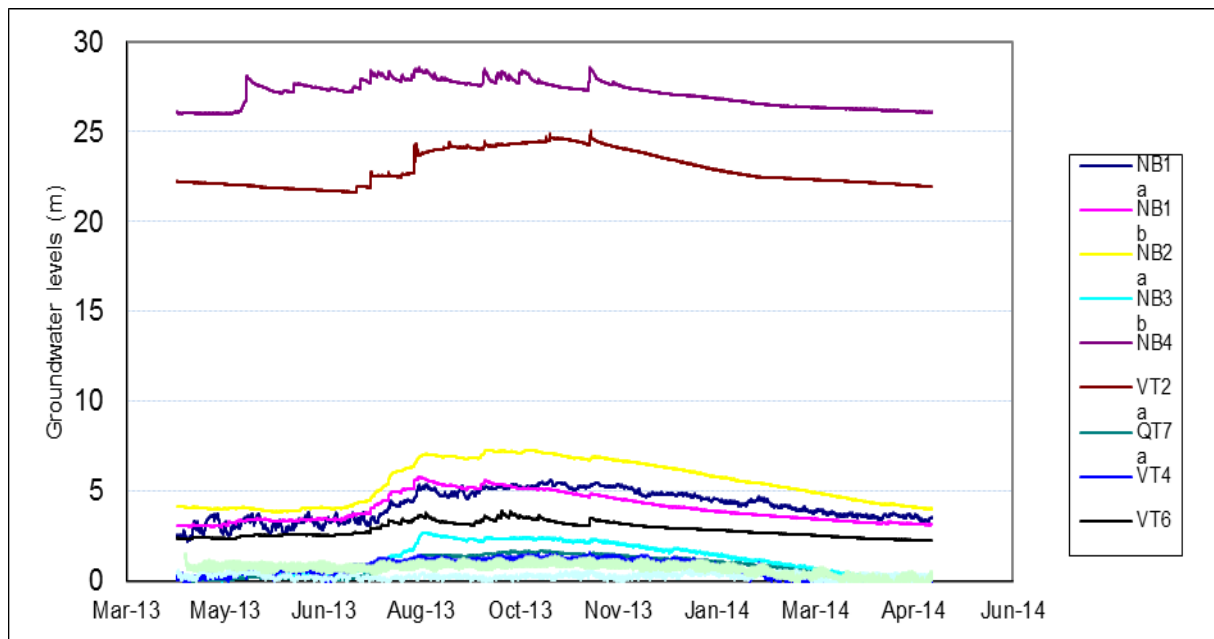


Abbildung 8: Gemessene Grundwasserstände in dem Zeitraum zwischen April 2013 und April 2014 an den verschiedenen Beobachtungsbrunnen.

Zunächst wurden insgesamt 15 Brunnen mit den Messgeräten ausgestattet, in die Verwertung wurden jedoch nur die 11 in der Tabelle 1 aufgeführten Brunnen aufgenommen, da insgesamt 4 Diver letztlich nicht ausgewertet werden konnten (Diebstahl, Beschädigung, Messstellenausfall durch oberirdische Überschwemmung).

Zusammenfassend muss die Datenlage der Wasserspiegellagen für eine Verwendung in einem Grundwassermodell teilweise kritisch beurteilt werden. Bei der Analyse der Brunnenkonfigurationen ist zudem deutlich geworden, dass die Brunnen vom DONRE nicht eingerichtet wurden, um eine flächenhafte Darstellung der Grundwasserstände zu erhalten. Das DONRE verfolgte also keine überlegte Strategie eines Grundwassermonitorings (vgl. z.B. Anhang V der WRRL, mit Anforderungen an das Grundwassermonitoring (Europäische Union, 2000)). Die Brunnen wurden zur Beantwortung von Einzelfragestellungen mit Hinblick auf lokale Wasserqualitätsfragen angelegt. So ist z.B. eine deutliche Häufung der Brunnen entlang der Hauptstraße und damit entlang einer Linie mit verstärkter wirtschaftlicher Nutzung zu erkennen.

Aufgrund der finanziellen Ausstattung des Teilprojektes musste auf die Anlage eines eigenen, umfassenden Messnetzes verzichtet werden. Diese Ausstattung hätte, nach den heutigen Kenntnissen zu Mehrkosten in Höhe von etwa 200.000 Euro geführt.

Vielmehr wurden die Messstationen unter vorgegebenen finanziellen Randbedingungen und Betreuungskapazitäten mit Fokus auf Wasserqualitätsfragen und Szenarienberechnungen eingerichtet und betrieben. Die Einrichtung lief in Kooperation mit der örtlichen Behörde ab.

Die Brunnendaten sind in einem Brunnenregister dargestellt (vgl. Anhang).

### 1.3.5.3 Grundwasserdynamik

Die Abbildung der Grundwasserdynamik, hier die zeitliche Veränderung der Grundwasserspiegellagen, erfolgte über eine vergleichende Betrachtung von Grundwasserständen aus den Zeitscheiben 2007-2008 mit Grundwasserständen aus der Zeitscheibe 2014 an insgesamt 7 Messstellen aus dem Projektgebiet (NB1a, NB1b, NB2a, NB3b, QT7a, VT4b, VT6).

Verglichen wurden die absoluten Höhen in m ü. NN der Grundwasserspiegelmessungen für jeweils ein Jahr. Gegenübergestellt wurden dabei die Minimal- und die Maximalwerte (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Vergleich von gemessenen Wasserspiegelhöhen in ausgewählten Grundwassermessstellen 2008 / 2014.

Brunnen	Aquifer	Min/Max	Min/Max	Bewertung
		mNN 2008	mNN 2014	
NB1a	qp <sub>2-3</sub>	0 m – 3.5 m	2 m – 5.3 m	WS +
NB1b	qp <sub>3</sub>	2 m – 8 m	3 m – 6 m	WS +
NB2a	n <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-6 m – 0 m	4 m – 7 m	WS ++
NB3b	qp <sub>3</sub>	0.5 m – 4 m	0.1 m – 0.2 m	WS -
QT7a	n <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1.9 m – 3 m	0 m – 1.8 m	WS --
VT4b	qp <sub>2-3</sub>	-0.5 m – 1.4 m	-0.5 m – 1.4 m	WS +-
VT6	qp <sub>3</sub>	1 m – 3 m	2.2 m – 4 m	WS +

Legende: WS + Wasserspiegel angestiegen; ++ stark angestiegen; +- keine Veränderung; - gesunken; -- stark gesunken

Der Vergleich zeigt keine eindeutigen Tendenzen. Die Brunnen, die ein Absinken der Grundwasserspiegel anzeigen, liegen in Industriegebieten (NB2a) und Siedlungsgebieten (QT7a). Dieses beobachtete Verhalten der Grundwasserspiegellagen ist in diesen Nutzungsgebieten nicht überraschend. Die Nutzung vorhandener Ressourcen für Einzelne (unabhängig davon, ob es sich um private, betriebliche oder landwirtschaftliche Nutzungen handelt) ist noch immer üblich. Als nicht wünschenswerter Trend sollten diese Beobachtungen jedoch Anlass dafür sein, diese Entwicklung durch weitere Messstellen, auch Neubauten, im Rahmen eines Grundwassermonitorings für zukünftige Verhältnisse zu beobachten.

Generell konnte für die betrachteten Brunnen nur eine schwache Interaktion zwischen der Dynamik des tidebeeinflussten Flusswasserspiegels des Thi Vais und dem Grundwasserkörper festgestellt werden. Insbesondere in den landeinwärts liegenden Messstellen gibt es keine eindeutigen Hinweise auf eine Interaktion. Lediglich an 2 Messstellen wurde ein Nachlaufen der Grundwasserstände mit der Tidedynamik des Thi Vai Flusses festgestellt, den Pegeln DN 30 und VT 7a. In Abbildung 9 wird beispielhaft für den Brunnen DN 30 die Flusswasserstands-Ganglinie (Pegel Cai Mep beispielhaft verwendet)



und die Grundwasserstands-Ganglinie für einen Zeitraum von etwa 24 Stunden abgebildet. Die Brunnen DN 30 und der Brunnen VT 7a sind in unmittelbarer Nähe des Ästuars lokalisiert. Man erkennt zwar eine Parallelität im Verlauf der Wasserspiegelganglinien, jedoch ist die Amplitude im Grundwasserleiter deutlich geringer ausgeprägt als im Ästuar. Des Weiteren wurden in beiden Brunnen keine erhöhten Salzgehalte festgestellt, was ebenfalls auf eine geringe Interaktion zwischen Grundwasser und Flusswasser hindeutet.

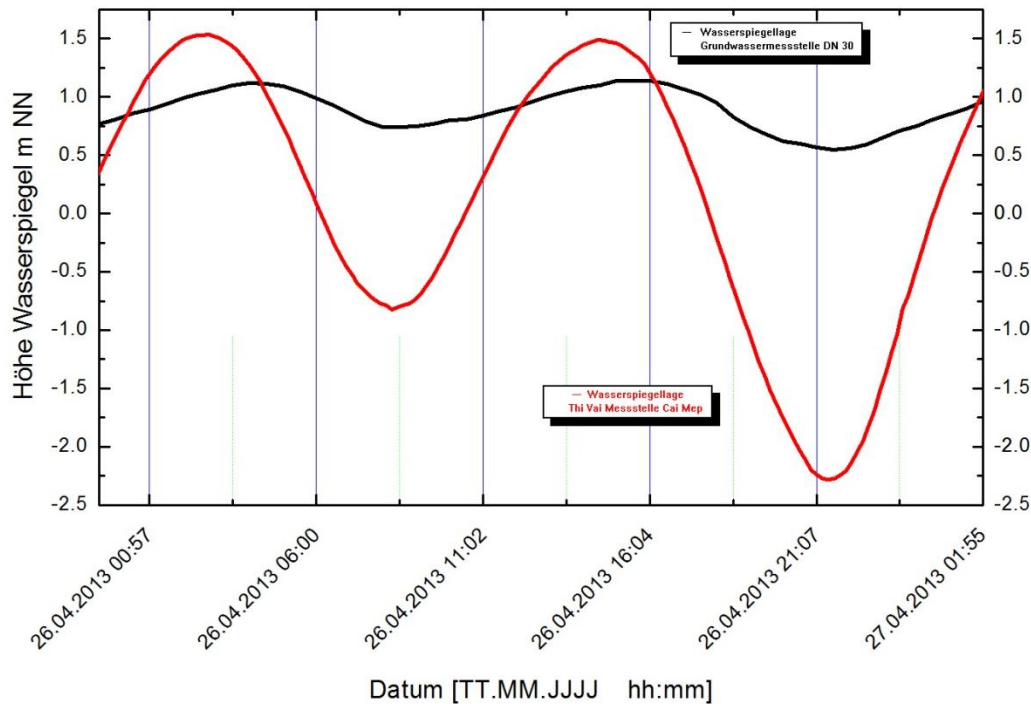


Abbildung 9: Vergleich der Grundwasserstände am Pegel DN30 mit der Dynamik des Thi Vai (Pegel Cai Mep).

## 1.4 Datenaufbereitung

Die vorhandenen Datenbestände wurden aufbereitet, bedarfsweise erfolgte die Einrichtung von Werkzeugen zur Datenhaltung und Konvertierung. Prämisse dabei war, die Daten modellunabhängig, aber FEFLOW-kompatibel zur Verfügung zu stellen. Dazu waren die raumbezogenen Informationen GIS-konform aufzubereiten, so dass sie unter ARCGIS verwendbar sind. Mit Hilfe der komfortablen GIS-Schnittstellen ist eine Übertragung der Informationen in FEFLOW leicht und effizient durchführbar.

Die zeitvarianten Daten wurden ebenfalls FEFLOW-kompatibel aufgearbeitet und zur Pflege in Datenbanken gehalten. In Zukunft sollten die zeitvarianten Daten, insbesondere Pumpmengen (soweit vorhanden) und Wasserstände, aus den Datenverwaltungssystemen der vietnamesischen Administrationen entnommen werden, um eine redundante Datenhaltung zu vermeiden. Die dazu notwendigen Schnittstellen stehen zur Verfügung (Managementsystem).

### 1.4.1 Eingesetzte Werkzeuge

Die Datenaufbereitung erfolgte mit Hilfe von Standardsoftwarewerkzeugen, die auch beim Auftraggeber im Einsatz sind. Für Haltung und Bearbeitung von raumbezogenen Informationen wurde das GIS ARCGIS der Fa. ESRI verwendet. Zum Einsatz kamen neben den Standardkomponenten auch einige Extensions, wie z.B. der „Spatial Analyst“. Die Datenaufbereitung für die Grundwasserneubildungsberechnungen und die Berechnung selbst wurden mit der LWI Software PANTA RHEI durchgeführt. Die wenigen vorhandenen Schichtenverzeichnisse für das Untersuchungsgebiet waren nur in Papierformat vorhanden und mussten händisch ausgewertet und so aufbereitet werden, das ihre Informationen in das hydrogeologische Modell in FEFLOW eingepasst werden konnten. Die Standardwerkzeuge des MS-Office-Paketes wie Excel und Access kamen in allen Bereichen der Datenaufbereitung zum Einsatz.

### 1.4.2 Übergebene Daten

Die Datenbestände, die von verschiedenen Institutionen an das IfW übergeben wurden, sind in Tabelle 3 in einer Übersicht dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht der Datenübergabe.

Datenart	Bearbeitung durch	Rohdateneingang bzw. Übergabe an IfW
Topographie	IfW	Projektbeginn
Landnutzung	IfW + LWI	03-2013
Bodenarten	IfW + LWI	03-2013
Gewässernetz	LWI	03-2013
Geländemodell	LWI	03-2013
GW-Messstellen	IfW	03 bis 09-2013
OW-Messstellen	LWI	03 bis 09-2013
Pumpanlagen	IfW	09-2013
GW-Stände	IfW	03 bis 09-2013
OW-Stände	LWI	2014
GW-Entnahmen Gebiet	IfW	04-2014
Schichtenverzeichnisse Gebiet	IfW	03-2013
Schichtgrenzen Gebiet	IfW	03-2013

Meteorol. Daten	LWI	2013-2015
Sohlhöhen der Gewässer	LWI	03-2014

Legende: IfW – Institut für Wasserwirtschaft, LWI – Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz

Die Datenaufbereitung selbst konnte in einigen Punkten nicht so zügig durchgeführt werden, wie im Vorfeld angenommen. Besonders die Zusammenführung der unterschiedlichen Datenbestände für das Untersuchungsgebiet stellte zeitaufwendige Anforderungen.

### 1.4.3 Topographie

Die topographischen Informationen lagen im Projekt als georeferenzierte Tiff-Rasterbilder vor. Zur Verfügung standen neben der kleinmaßstäblichen Karte (Maßstab 1:50.000) für das gesamte Untersuchungsgebiet auch Karten mit größeren Maßstäben (1:25.000 und 1:5.000). Diese Informationen wurden in verschiedenen Sichten des Desktop-GIS ARCGIS eingebaut und bei Bedarf den Anforderungen angepasst (Darstellungsweise, zu einem File zusammengefasst, untereinander verifiziert...), so dass sie ohne Probleme für das GW-Simulationssystem FEFLOW direkt nutzbar waren.

### 1.4.4 Grundwasserneubildung und einfließende Simulationen

Zur Ermittlung der Modellinputgröße Grundwasserneubildung wurde das im Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, entwickelte ökohydrologische Softwarepaket PANTA RHEI herangezogen (vgl. Abbildung 10).

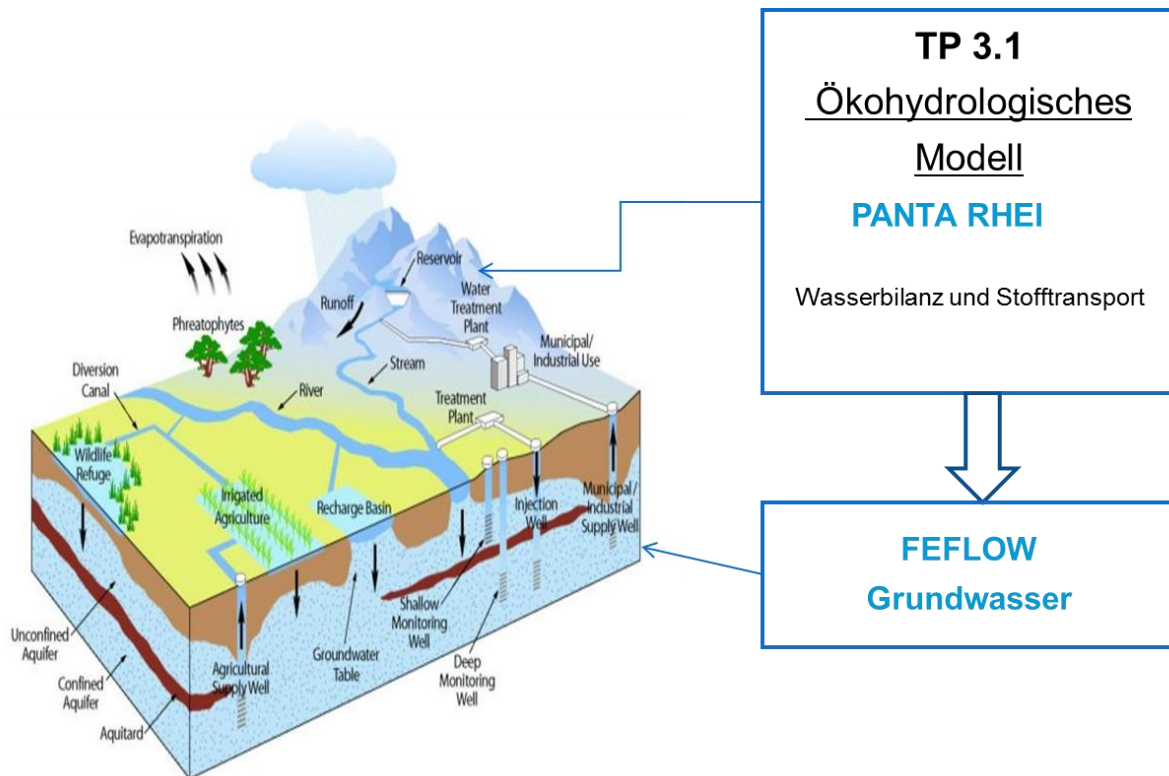


Abbildung 10: Darstellung der Anwendungskompartimente der Modelle PANTA RHEI und FEFLOW

PANTA RHEI erlaubt eine instationäre Berechnung des Sickerwassers unter Berücksichtigung langjähriger Zeitreihen der Klimagrößen, der Landnutzung und der geologischen Gegebenheiten. Die Berechnungen erfolgten auf Stundenbasis innerhalb des Teilprojektes TP3 am Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig. Die Berechnungsergebnisse wurden dann als Tagesmittelwerte der Grundwasserneubildung an das Teilprojekt „Grundwasser“ weitergegeben. Diese Mittelung war aus Projektsicht aufgrund der unterschiedlichen Zeitskalen im Oberflächen- und Grundwasser sinnvoll. Im Teilprojekt TP 3 wurde die Software PANTA RHEI verwendet, um die Hydrologie im Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses zu simulieren. PANTHA RHEI ist ein deterministisches, semi-distributives hydrologisches Modell für die Simulation einzelner oder länger anhaltender Ereignisse. Innerhalb des Modells wird das Einzugsgebiet in 219 Teileinzugsgebiete (Subbasins) untergliedert, die wiederum in Hydrotöpfe unterteilt sind. Ein Hydrotopf umfasst Flächen gleicher hydrologischer Eigenschaften in Bezug auf die Topographie, Landnutzung und Bodenart. Der Zeitschritt für die Simulation kann Minuten, Stunden oder Tage betragen. In dieser Studie wurde ein Zeitschritt von einer Stunde verwendet.

Die Grundwasserneubildung konnte von PANTA RHEI so erzeugt werden, dass sie in FEFLOW direkt einlesbar war: PANTA RHEI berechnet die Grundwasserneubildung für jedes Teileinzugsgebiet. Für die Simulation der Grundwasserströmungen wird in FEFLOW die Grundwasserneubildung an jedem Knoten des obersten Layers benötigt. Entsprechend der Lage dieser Knoten in den definierten Teileinzugsgebieten in PANTA RHEI werden dann die Grundwasserneubildungsraten zugeordnet.

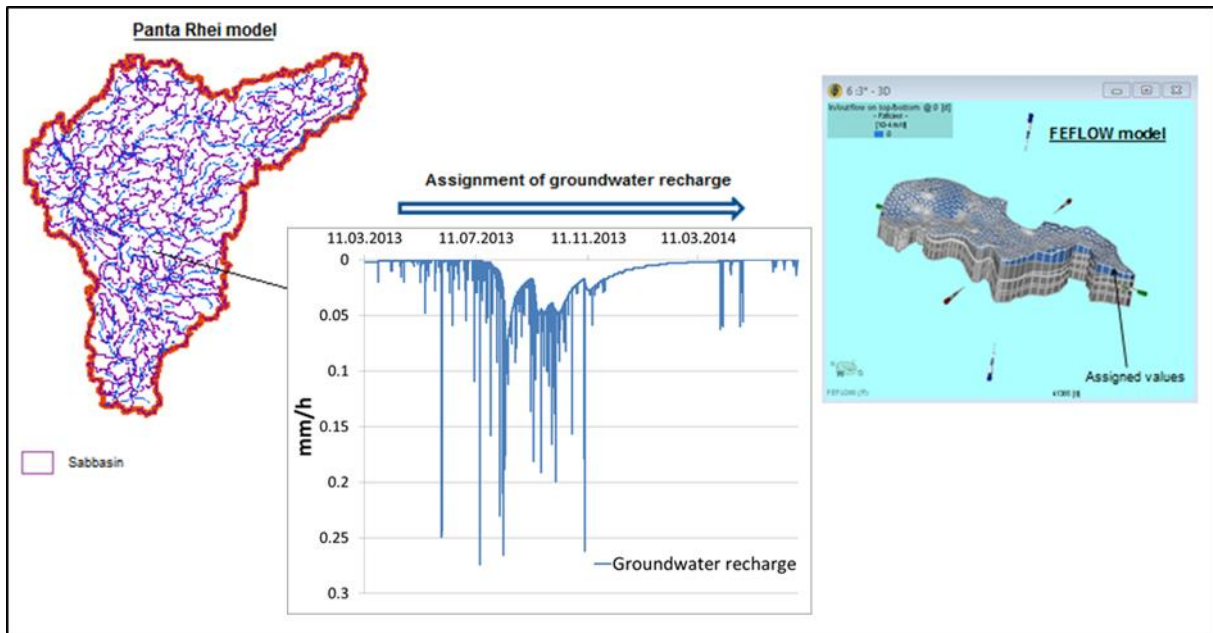


Abbildung 11: Zuordnung der Ergebnisse der Grundwasserneubildung aus PANTA RHEI in die obersten Layer des FEFLOW-Modells (beispielhaft für eine Teilfläche).

In Abbildung 11 ist beispielhaft für ein Teileinzugsgebiet das Ergebnis der Grundwasserneubildung dargestellt. Sie wird als Eingangsgröße auf den obersten Layer des FEFLOW-Modells appliziert. Die Werte der Grundwasserneubildung variieren in Zeit und Raum und sind abhängig von den Klimadaten, der Topographie, der Landnutzung sowie den Bodenarten. Mit der Nutzung von PANTA RHEI konnte die Grundwasserneubildung zeitlich und räumlich hochaufgelöst erzeugt werden. Durch diesen Ansatz hebt sich das aufgebaute Grundwassermodell von anderen Modellen ab, bei denen häufig eine räumlich und/oder zeitlich konstante Grundwasserneubildungsrate angenommen wird.

#### 1.4.4.1 Langjähriges Mittel der Grundwasserneubildung

In Tabelle 4 sind beispielhaft die Jahresmittel der Klimadaten über die Periode 1986 bis 2005 (Simulationszeitraum 2005) sowie den Zukunftszeitraum 2046 bis 2065 dargestellt (vgl. Bericht TP 3, Abb. A76 ff., LWI, 2016).

Tabelle 4: Mittelwerte der Klimadaten in mm/a für (1986-2005) und (2046-2065) – Rasterdaten mit simulierten Niederschlägen.

	Mittlerer Jahres-Niederschlag (N) mm	Verdunstung (ET) mm	Abfluss (Q) mm	Qextern mm	Delta S mm
1986 bis 2005	1945	734	1202	3	12
2046 bis 2065	1924	789	1130	3	9

### 1.4.5 Gewässernetz

Das im Modell verwendete Gewässernetz basiert auf den von Teilprojekt TP 3 verwendeten Daten. Relevant waren für die Grundwassermodellierung nur der Thi Vai Fluss sowie das Thi Vai Ästuar. Als Randbedingungen wurden die Wasserstände an den Stationen Long Tho, Cai Mep und Vung Tau angenommen (vgl. Abbildung 12).

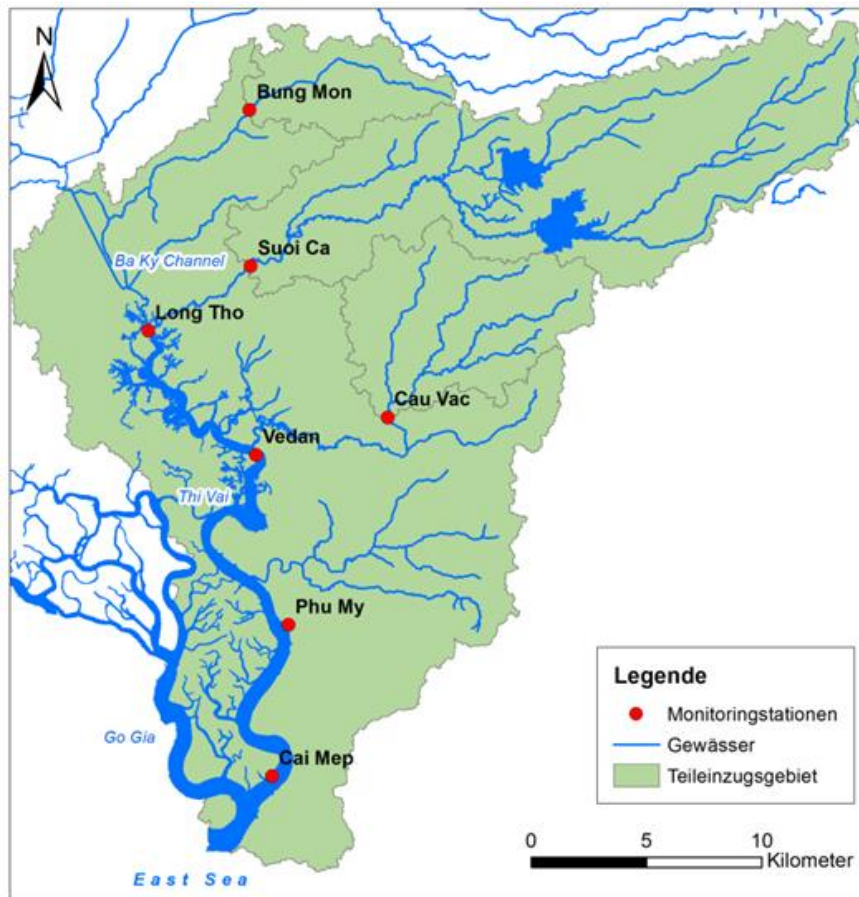


Abbildung 12: Überblick über die installierten Monitoringstationen entlang des Thi Vai Ästuars (ohne Pegel Vung Tau) (zit.: Abschlussbericht TP3. LWI, 2016).

Die Daten wurden von den Teilprojekten TP3 (Oberflächenwasser) und TP7 (Küstenschutz) zur Verfügung gestellt. Die Zuweisung der linienhaften Vorflutrandbedingungen in FEFLOW erfordert eine eindeutige Zuordnungsmöglichkeit der zu belegenden Knoten zu einem Gewässerabschnitt. Um eine parallele Belegung entlang eines Gewässerabschnittes zu vermeiden, muss der Snap-Radius bei der Zuweisung möglichst klein gehalten werden. Dies ist in einem inhomogenen Netz, wie dem des vorliegenden Modells, nur realisierbar, wenn das zur Interpolation verwendete Linienfile die Geometrie des Netzes berücksichtigt. Daher wurde auf der Grundlage der Netzgeometrie entlang der Gewässerverläufe ein Linienfile geschaffen, das die zu belegenden Knoten grundsätzlich berührt. Damit kann ein kleiner Snap-Radius genutzt werden, so dass auch in den engmaschigen Bereichen des Netzes keine Parallelbelegung entlang der Gewässer stattfindet.

#### **1.4.6 Zeitinvariante Daten**

Das Grundwassermodellierungssystem FEFLOW hält die zeitvarianten Daten in einem relativen zeitlichen Kontext. Das bedeutet, dass die Zeitangabe in der Zeitreihe nicht absolut, also datumbezogen, sondern relativ bezogen auf das Modellanfangsdatum erfolgt. Eine Simulation beginnt somit i.d.R. zu einem Zeitpunkt „Null“. Für das zu erstellende GW-Modell wurde dieser Zeitpunkt „Null“ auf den 1. Januar 1986 gelegt.

Die Grundwasserstände der Referenzpegel wurden in eine Exceldatenbank übertragen und stehen dort zur weiteren Verarbeitung und dem Export zur Verfügung.

Die Oberflächenwasserstände liegen in der Oberflächenwasser-Datenbank vor.

Die an das IfW übergebenen Schichtenverzeichnisse wurden als pdf-Dateien abgespeichert.

## 1.5 Die Grundwassersoftware FEFLOW

Die Simulation der Grundwasserströmung erfolgt mit dem Modellsystem FEFLOW in der Version 6.1 (DHI, 2016). Grundlagen zu FEFLOW und seine Anwendungsmöglichkeiten können in Diersch (2014) nachgelesen werden. FEFLOW verwendet das Finite-Elemente (FE)-Verfahren zur numerischen Lösung der Strömungsgleichungen. Dazu wird über dem Modellgebiet ein FE-Netz aus homogenen Dreiecks-Elementen generiert, um das Modellgebiet in Teilelemente zu zerlegen. Entlang der entstehenden Netz-Knoten erfolgt dann die Lösung der Strömungsgleichungen. Die dafür notwendigen mathematischen und physikalischen Grundlagen werden im folgenden Abschnitt beschrieben. Der Übergang in die Dreidimensionalität wird durch die senkrechte Projektion der Dreiecks-Elemente realisiert. Dadurch entstehen Tetraeder-Elemente, deren obere und untere Begrenzung zwei Flächen bilden, die jeweils eine Schicht – so genannte Modellgrundwasserleiter (Modell-GWL) - begrenzen. Es können beliebig viele Modell-GWL übereinander gelegt werden, deren Anzahl sich aus dem hydrogeologischen Modell bzw. der Aufgabenstellung ableitet. Die vertikale Ausdehnung kann in jedem Modell-GWL separat variiert werden, wogegen die Festlegung der Dreiecksstrukturen im FE-Netz für alle Modell-GWL gilt. Durch horizontale und vertikale Diskretisierung kann das FE-Netz beliebigen hydrogeologischen Strukturen und Randbedingungen angepasst werden. Die damit zunehmende Anzahl der zu lösenden Gleichungen beeinflusst die Genauigkeit der Simulation. Allerdings sind mit steigender Netzverfeinerung auch ein höherer Rechenaufwand und damit längere Rechenzeiten verbunden (Zippel, 2005).

Die mathematischen und physikalischen Grundlagen der Grundwasserströmung im ungespannten GWL sind im Detail in vielen Lehrbüchern dargestellt (z.B. Bear (1979), Freeze und Cherry (1979)).

Wesentliche Eigenschaften von FEFLOW sind eine benutzerfreundliche Oberfläche, die Verknüpfung mit Geographischen Informationssystemen (GIS) sowie die Möglichkeit ein hochdetailliertes Netz zu erzeugen.

Die Netzgenerierung mit der Finite-Elemente-Methode zeichnet sich - im Gegensatz zu einem Rechteckgitter, welches mit der Finite-Differenzen-Methode erzeugt wird (z.B. ModFlow) - durch eine hohe Flexibilität aus, wodurch lokale Netzverfeinerungen an Bohrpunkten oder entlang von Flüssen möglich sind.

Ein FEFLOW-Modell wird grundsätzlich in 3 Schritten aufgebaut: (1) Erstellung des Finite-Elemente-Netzes, (2) 3D Erstellung der Slices und Layer und (3) Festlegung der für die Simulation erforderlichen Parameter.



## 1.6 Konzeptionelles Grundwassermodell

### 1.6.1 Überblick

Die Konzeptionalisierung liefert die Grundlagen der Modellbildung und vermittelt dadurch unterschiedlichen Zielgruppen mit unterschiedlichem Wissensstand ein Verständnis für das System.

Ein konzeptionelles (hydrogeologisches) Modell ist die anschauliche Darstellung eines Grundwassersystems, das Informationen über die geologische und hydrologische Beschaffenheit enthält (Anderson und Woessner 2000). Ein konzeptionelles Modell enthält geologische Strukturen, Layereigenschaften sowie Randbedingungen.

In Abbildung 13 sind die Prozessschritte für die Entwicklung eines konzeptionellen Modells selbsterklärend dargestellt.

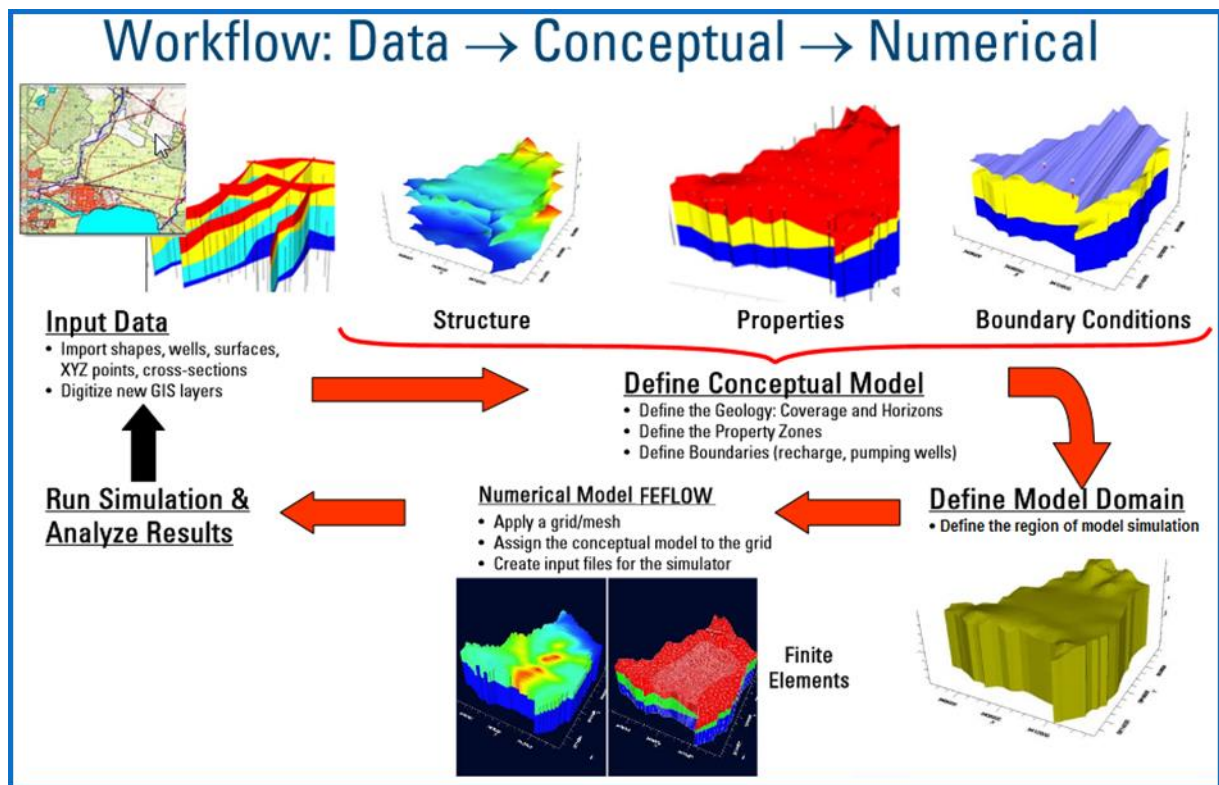


Abbildung 13: Konzeptualisierung eines hydrogeologischen Modells (Anderson und Woessner, 2000).

## **1.6.2 Aufnahme und Analyse der Daten**

Das konzeptionelle Modell wurde, soweit dies möglich war, anhand von Beobachtungen, Messungen und Interpretationen entwickelt. Qualitätsgesicherte Daten dienten zur Verbesserung des konzeptionellen Modells.

Die Datenaufnahme und Analysephase der Prozessmodellierung umfasste:

- Die Festlegung des Untersuchungsgebietes und die Abfrage der Verfügbarkeit der erforderlichen Daten.
- Die Bewertung der räumlichen Verteilung, des Umfangs und der Aussagekraft der Daten.
- Den Aufbau einer Projektdatenbank für das Modell.
- Die Organisation der Daten, die für die Entwicklung der Konzeptualisierung genutzt wurden, in einer Datenbank.
- Die Abbildung möglichst aller Parameter und Beobachtungen in Grafiken und Tabellen so dass die Modellkalibrierung mit Parametern, die innerhalb realistischer Grenzen liegen, erfolgen kann.
- Die Abschätzung und Festlegung der Anfangswerte für alle hydrogeologischen Einheiten.
- Die Quantifizierung der Strömungsprozesse und Belastungen (z.B. Grundwasserneubildung, Grundwasserentnahme).

Einige der zusammengestellten Informationen wurden nicht nur während der Konzeptualisierung genutzt, sondern auch für den Aufbau und die Kalibrierung des Modells herangezogen. Dazu zählen Daten über die Modelllayer, hydraulische Parameter sowie Beobachtungen zur Wasserspiegellage in Grund- und Oberflächenwasser.

## **1.6.3 Entwicklung des konzeptionellen Modells**

### **1.6.3.1 Definitionsbereiche Domänen**

Der hydrologische Definitionsbereich wurde groß genug konzipiert, sodass die Orte, an denen das Grundwassersystem beeinflusst und belastet wird, vollständig abgedeckt sind. Des Weiteren mussten die Prozesse, die das Grundwasserverhalten im Untersuchungsgebiet beeinflussen, hinreichend erfasst werden.

Der hydrogeologische Definitionsbereich umfasst die Struktur der hydrogeologischen Einheiten (Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer) in Bezug auf die Lage und den Maßstab der Fragestellung, die hydraulischen Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten, die Randbedingungen und Belastungen.

Der hydrogeologische Definitionsbereich beinhaltet:

- Die Beschreibung der Systemkomponenten im Hinblick auf ihre Bedeutung (Hydrostratigrafie und Aquifereigenschaften).
- Die Beschreibung der Beziehung zwischen den Komponenten innerhalb des Systems sowie zwischen den Systemkomponenten und der Umgebung außerhalb des hydrogeologischen Definitionsbereiches.

- Die Ableitung der spezifischen Prozesse, die eine Durchströmung von porösen Medien verursachen.
- Die Festlegung des räumlichen Maßstabes (lokal oder regional) und der Zeitskala (stationär oder instationär auf täglicher, saisonaler oder jährlicher Basis) der verschiedenen Prozesse, die die Wasserbilanz in dem Untersuchungsgebiet beeinflussen.

### **1.6.3.2 Hydrostratigrafie**

Typische Informationsquellen für solche Daten sind geologische Informationen aus geologischen Karten und Berichten, Daten von Bohrungen sowie geophysikalische Untersuchungen und Profile. Dazu gehören auch Höheninformationen aus digitalen Höhenmodellen.

Eine hydrostratigrafische Beschreibung des Systems besteht aus:

- stratigrafischen, strukturellen und geomorphologische Störungen (z.B. Klüfte und Faltungen, Karstgebiete),
- der lateralen Ausdehnung und Dicke der hydrostratigrafischen Einheiten,
- Klassifizierung der hydrostratigrafischen Einheiten als Grundwasserleiter (gespannt oder ungespannt) oder als Grundwasserhemmer
- Karten über die Ausdehnung und Mächtigkeit der Grundwasserleiter/-hemmer.

### **1.6.3.3 Aquifereigenschaften**

Die Eigenschaften der Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer wirken sich auf die Wasserströmung, die Speicherung und den Transport gelöster Stoffe aus. Quantifizierte Aquifereigenschaften sind entscheidend für den Erfolg der Modellkalibrierung. Des Weiteren ist bekannt, dass die Eigenschaften eines Aquifers räumlich variieren und nicht bis ins kleinste Detail bekannt sind. Die wichtigsten Aquifereigenschaften sind die Porosität und der spezifische Speicherkoeffizient.

### **1.6.3.4 Konzeptionelle Modellgrenzen**

Im Konzeptualisierungsprozess werden die Grenzen des Untersuchungsgebietes auf der Grundlage der Kenntnis der Grundwasserströmungsprozesse abgeleitet. Die Modellgrenzen schließen den undurchlässigen Untergrund des Modells ein. Annahmen, die in Bezug auf die Randbedingungen des Untersuchungsgebietes getroffen worden, sind:

- Die Lokation an der das Grundwasser in das Grundwassersystem lateral ein- und ausströmt.
- Die Geometrie der Modellgrenzen.
- Die Art der Prozesse, die an den Modellgrenzen stattfinden, d.h. Grundwasserneubildung und ggf. Grundwasseraustritte.

- Das Ausmaß und zeitliche Variabilität der Prozesse an den Modellgrenzen.

### **1.6.3.5 Belastungen**

Die offensichtlichste anthropogene Belastung ist die Grundwasserentnahme über Pumpen. Des Weiteren können klimatische Veränderungen, die die Prozesse Evapotranspiration und Grundwasserneubildung beeinflussen, eine Belastung für das Grundwasser darstellen.

Die Beschreibung und Quantifizierung der Belastungen, die das Grundwassersystem betreffen, werden in der Konzeptualisierung berücksichtigt über:

- konstante oder sich zeitlich verändernde Belastungen,
- Volumenströme,
- Verteilung der Förderbrunnen.

Grundlegend für ein konzeptionelles Grundwassermodell ist die Identifikation sowohl der Grundwasserneubildungs- und Grundwasseraustrittsprozesse als auch das Strömungsfeld des Grundwassers zwischen den Neubildungs- und Austrittsstellen.

In dieser Studie wurde die Wechselwirkung zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser berücksichtigt, um eine Randbedingung im System zu definieren (Thi Vai Fluss).

### **1.6.3.6 Physikalische Prozesse**

Die Beschreibung der Strömungsprozesse beinhaltet folgende Aspekte:

- Die Festlegung der Gleichgewichtsbedingung des Aquifers (stationär oder instationär).
- Das Erzeugen von Fließpfaden anhand von Grundwassergleichungen.
- Die Quantifizierung der Grundwasserneubildungs- und Grundwasseraustrittskomponenten.
- Die Analyse der Wechselwirkung zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser.

### **1.6.3.7 Kontrolle des konzeptionellen Modells**

Um in der Konzeptualisierung Fehler zu vermeiden und Unsicherheiten zu reduzieren muss die Wasserbilanz nach Möglichkeit angegeben werden.

Die Wasserbilanz kann zu Beginn abgeschätzt werden, um genauere Kenntnisse über das System zu erhalten. Eine semi-quantitative Analyse der Wasserbilanz liefert nützliche Informationen, um die gesamten ablaufenden Prozesse im Einzugsgebiet zu definieren und das Ausmaß ihrer Verteilung im hydrologischen System zu bewerten.

## 1.7 Modellaufbau

### 1.7.1 Räumliche Diskretisierung und Netzgenerierung

Als Grundlage für die Netzgenerierung wurde das Modellgebiet in Untereinheiten aufgeteilt. Aus dieser Aufteilung ergibt sich das so genannte Supermesh (vgl. Abbildung 14). Die Aufteilung orientiert sich an modellrelevanten Strukturen, insbesondere denen, die Randbedingungen darstellen oder hydrogeologische Parameter scharf definieren. Im Falle des vorliegenden Modells wurde das Supermesh aus 25 Elementen generiert.

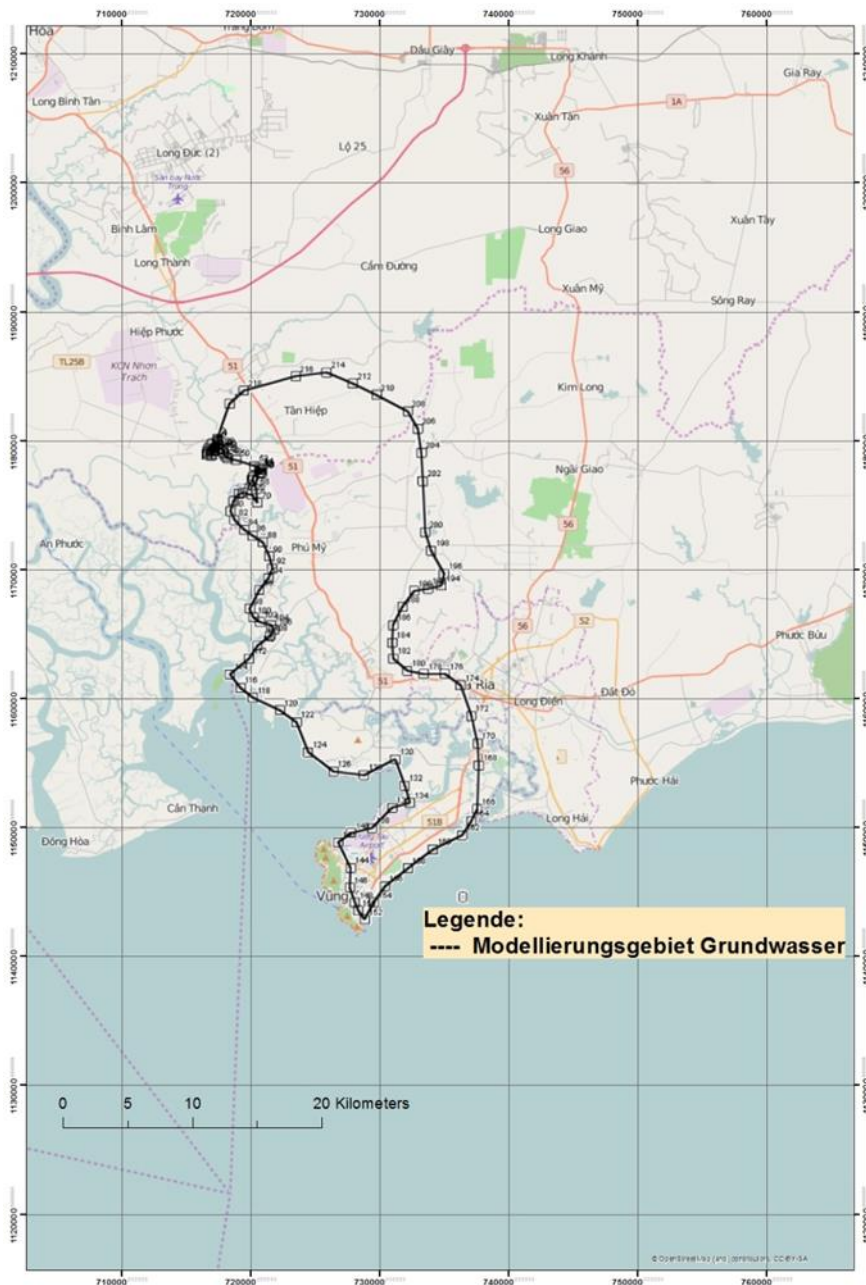


Abbildung 14: Supermesh – Räumliche Einordnung.

Das eigentliche FE-Netz wurde aus dem beschriebenen Supermesh generiert. Dabei wurden folgende Kriterien erfüllt:

Entlang des Thi Vai Flusses wurde in einer Zone von 400 m Breite eine Maschenweite von ca. 100 m aufgebaut, im westlichen Teil des Modellgebietes von ca. 400 m. Des Weiteren musste in den Bereichen starker Gradienten eine Verfeinerung des Knotenabstandes durchgeführt werden.

Das Finite-Elemente-Netz für das Modellgebiet ist der Abbildung 15 zu entnehmen (2D-Ansicht). Es umfasst ca. 15.200 Knoten und ca. 26.000 Elemente (3D-Konfigurierung – vgl. Abbildung 16).

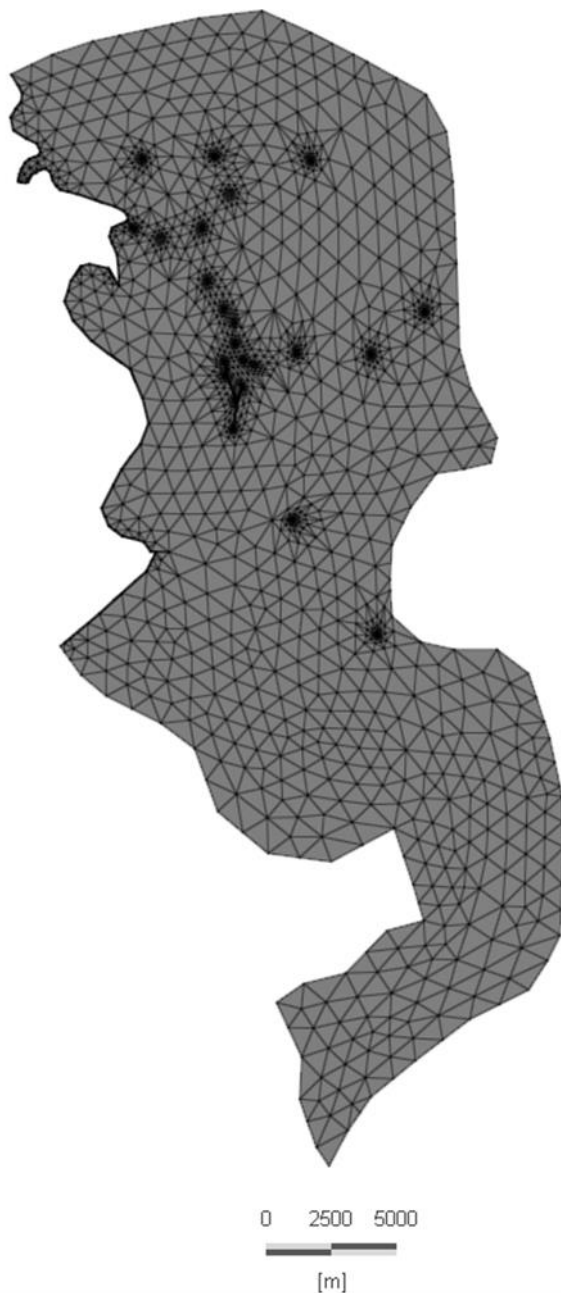


Abbildung 15: 2D- Ansicht – Finite Elemente Netz.

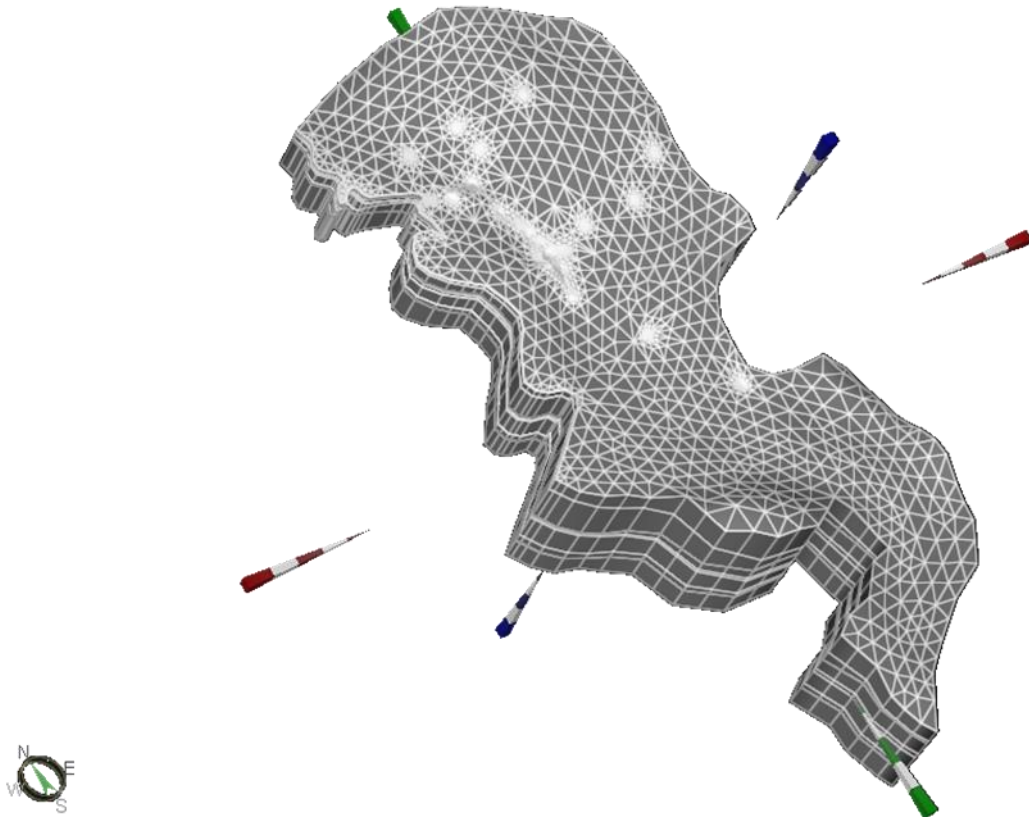


Abbildung 16: 3D- Ansicht – Finite Elemente Netz.

Das Modell wurde entsprechend der abgeleiteten Hydrogeologie in 7 Layer (Schichten mit i.d.R. unterschiedlichen Charakteristiken), getrennt durch 8 Slices (Schichtgrenzen) aufgeteilt.

Es wurden gesättigte Strömungsverhältnisse und ein ungespannter Aquifer berücksichtigt, woraus sich folgende Layerdefinitionen ergeben:

- Slice 1: Spezifisch (festgesetzter Slice und ungespannter Layer)
- Slice 2: abhängig (definiert an der oberhalb nächstgelegenen unabhängigen Slice)
- Slice 3: abhängig (definiert an der oberhalb nächstgelegenen unabhängigen Slice)
- Slice 4: abhängig (definiert an der oberhalb nächstgelegenen unabhängigen Slice)
- Slice 5: abhängig (definiert an der oberhalb nächstgelegenen unabhängigen Slice)
- Slice 6: abhängig (definiert an der oberhalb nächstgelegenen unabhängigen Slice)
- Slice 7: abhängig (definiert an der oberhalb nächstgelegenen unabhängigen Slice)
- Slice 8: unterste Slice ist festgesetzt

Die Layer 1, 3, 5 und 7 stellen Grundwasserleiter mit einer hohen hydraulischen Leitfähigkeit dar. Die übrigen Layer (2, 4 und 6) sind grundwasserhemmende Schichten, die eine niedrige bis sehr niedrige vertikale hydraulische Leitfähigkeit aufweisen.

## 1.7.2 Materialparameter

Die Materialeigenschaften beschreiben die wesentlichen Merkmale des porösen Mediums, die für die Simulation der betrachteten Strömungs- und Transportprozesse relevant sind. Dazu zählen:

- Hydraulische Leitfähigkeit in x-, y- und z-Richtung
- Effektive Porosität
- Spezifischer Speicherkoeffizient
- Transferrate  $\Phi = \frac{k_f}{d} \left[ \frac{m}{m} \right]$

Die hydrogeologischen Eigenschaften können wie folgt zugeordnet werden:

- als konstanter Wert für einen oder mehrere Modelllayer, d.h. es liegen homogene hydrostratigrafische Einheiten vor,
- als konstanter Wert innerhalb mehrerer Zonen in jedem Layer, z.B. um zwischen verschiedenen hydrogeologischen Materialien innerhalb des gleichen Layers zu unterscheiden,
- jeder Zelle oder jedem Element können aus einer geringen Anzahl an repräsentativen Punktdaten, die über einen Algorithmus interpoliert werden, Eigenschaften zugeordnet werden (z.B. über die Pilot-Punkt-Methode, bei der die repräsentativen Punkte, die sogenannten Pilot-Punkte, mittels Kriging interpoliert werden können),
- jeder Zelle oder jedem Element können individuelle Werte zugeordnet werden.

In dieser Studie wurden konstante Werte innerhalb verschiedener Zonen eines Layers gewählt, um die hydraulischen Parameter im Grundwassermodell zuzuordnen.

### 1.7.2.1 Datengrundlagen

Die Bohrinformationen, die von vietnamesischen Behörden zur Verfügung gestellt wurden (ca. 80 Bohrungen), wurden von der IfW GmbH hinsichtlich ihrer hydrogeologischen Eigenschaften ausgewertet und interpretiert. Für den Teil des Modellgebietes, der nicht von diesen abgedeckt wurde, wurden Informationen aus Kartenmaterial hinzugezogen und von der IfW aufbereitet (ca. 20 geologische und hydrogeologische Querschnitte). Aus Bohrungen, die dicht beieinander liegen, wurde die jeweils tiefste und damit die informationsreichste zur weiteren Interpretation ausgewählt.

### 1.7.2.2 Aquifergeometrie

Die Aquiferoberkante stellt die Grenze zur Atmosphäre dar und wurde entsprechend des Höhenmodells und der Bodendaten aufgebaut. Somit ergab sich die Höhenlage des ersten Layers (Slice 1) im Modellgebiet zum einen aus stratigrafischen Informationen verfügbarer Bohrdaten (vgl. Anhang B), aus den verfügbaren Informationen zum Boden und zum anderen aus dem Digitalen Höhenmodell. Die gesamte Aquifergeometrie ergab sich daraus folgend aus der abgeleiteten Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes.



### **1.7.2.3      Hydraulische Durchlässigkeiten**

Aus den Bohrdaten, hydrogeologischen und geologischen Karten und Querschnitten sowie Literaturstellen wurden unterschiedliche kf-Wert-Interpretationen herangezogen. Die hydraulische Leitfähigkeit eines Bodens ist ein Maß für die Fähigkeit eines Bodens, eine bestimmte Menge an Wasser unter Berücksichtigung des hydraulischen Gradienten zu transportieren. Diese ist abhängig von der Korngröße, der Struktur der Bodenmatrix, der Art des Bodenwassers sowie des relativen Anteils des Bodenwassers in der Bodenmatrix. Das Grundwassermodell für das Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses und dessen Umland ist ein dreidimensionales Modell und umfasst acht Slices und sieben Layer (vgl. Abbildung 16). Die Layer 1, 3, 5 und 7 stellen Grundwasserleiter mit einer hohen hydraulischen Leitfähigkeit dar. Die übrigen Layer (2, 4 und 6) sind grundwasserhemmende Schichten, die eine niedrige bis sehr niedrige vertikale hydraulische Leitfähigkeit aufweisen. Aus den vorhandenen Daten wurden zusammenfassend hydraulische Leitfähigkeiten im Modell zwischen 8 und 41 m/d abgeleitet.

### **1.7.2.4      Effektive Porosität und Speicherkoeffizient**

Die effektive Porosität beschreibt den Anteil der Bodensäule, in der das Wasser unter Einfluss der Schwerkraft strömen kann. Zur Ermittlung der effektiven Porosität wurde ein ähnlicher Weg gewählt wie bei der Erarbeitung der Durchlässigkeitsverteilung. Die gleichen Bohrauswertungen (Bohrprofile und Karten) dienen als Grundlage, es sei daher auf das Kapitel 1.7.2.1 verwiesen. Aus den bei der schichtweisen Betrachtung abgeleiteten Korngrößen wurde nach Busch et al. (1993, S. 64) die effektive Porosität abgeleitet. Für jede Bohrung wurde diese mächtigkeitsgewichtet über den durchströmten Aquifer gemittelt. Es folgte eine Übertragung der Ergebnisse auf die Fläche mit Hilfe geostatistischer Verfahren. Die Werte der effektiven Porosität liegen im Modell zwischen 0,001 und 0,02.

Der spezifische Speicherkoeffizient beschreibt die Änderung des gespeicherten Wasservolumens je Volumeneinheit des Grundwasserraumes bei Änderung der Standrohrspiegelhöhe um 1 m (DIN 4049). Für das Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses liegen keine hydraulischen Daten vor. Demnach wurde ein spezifischer Speicherkoeffizient von 0,00001 bis 0,0001 angenommen.

### **1.7.2.5      Transferkoeffizienten**

Die Transferrate beschreibt die Durchlässigkeit der Kolmationsschicht. Da für die Kolmation keine Informationen verfügbar sind, musste der übliche Weg beschritten werden, die Kolmation im Rahmen der Modellkalibrierung zu bestimmen. Von den im Gebiet vorhandenen kleinen Gewässern sollte definitionsgemäß keine Infiltration ausgehen, da an ihnen auch keine Informationen zu Wasserständen vorlagen. Für den kleinen Teil der mit Randbedingungen belegt wurde, wurde der Transferkoeffizient für die Infiltration auf null gesetzt.

Im Modell wird die Transferrate nur für den Thi Vai Fluss angesetzt. Bei effluenten Verhältnissen mit einem Wert von 200-700 1/d, für den umgekehrten Fall wird ein Wert von 200 1/d angenommen.

### 1.7.3 Randbedingungen

#### 1.7.3.1 Vorfluter

Um die Interaktionen des definierten Modellgebietes mit dem Umland bzw. angrenzenden Wasserkörpern zu beschreiben, mussten geeignete Randbedingungen für das Modell definiert werden. Aufgrund fehlender Daten in dem Zeitraum zwischen 2006 und 2012, bestehen die Zeitreihen der Randbedingungen im Modell aus vergangenen (1986-2005) und gegenwärtigen Daten (2013-2014).

Die Daten aus der Vergangenheit (1986-2005) stammen vom DONRE, Ba Ria-Vung Tau, Vietnam. Die gegenwärtigen Daten (2013-2014) wurden von der Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, der Technischen Universität Braunschweig, aufgezeichnet. Die Anordnung der Randbedingungen im Grundwassermodell ist der Abbildung 17 zu entnehmen.

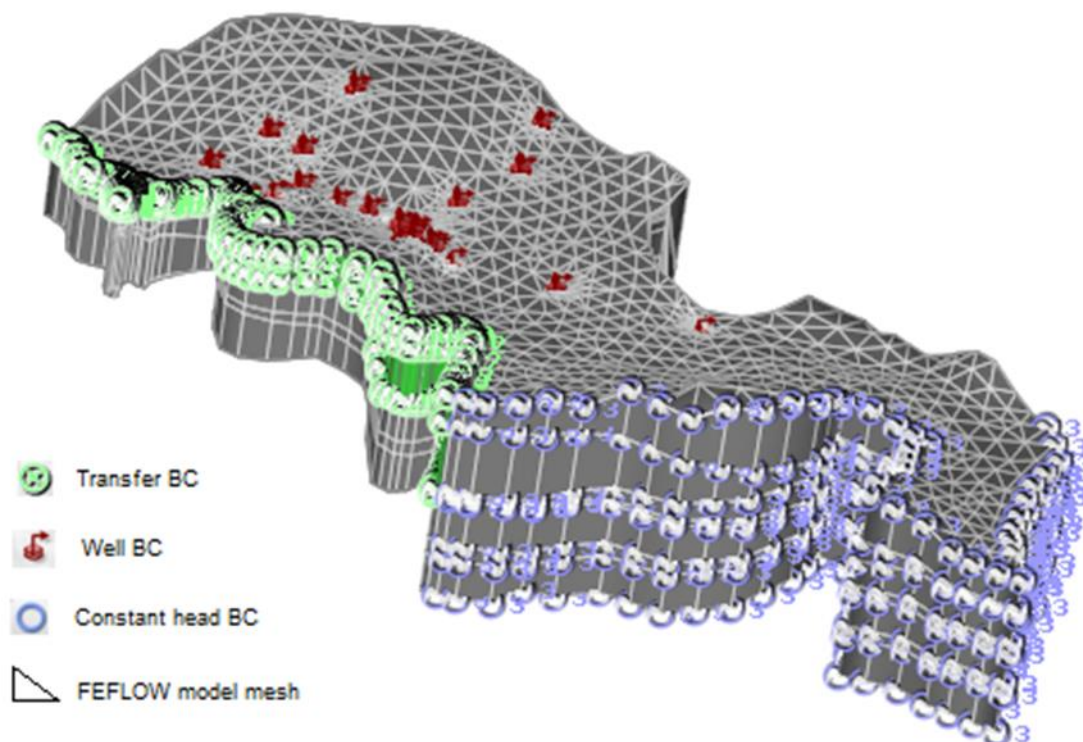


Abbildung 17: Randbedingungen des FEFLOW-Modells.

Im Westen wird das Modellgebiet durch den Thi Vai Fluss begrenzt. Im konzeptionellen Modell wird angenommen, dass das Grundwasser über das Gewässerbett im Austausch mit dem Flusswasser steht. Basierend auf dieser Annahme wird der Austausch zwischen Grund- und Flusswasser über die Transfer-Randbedingung im Modell berücksichtigt (Diersch, 2014).

Die Randbedingung 2. Art (Neumann-Bedingung) gibt den Zu- bzw. Abstrom am Rand in der Dimension einer Geschwindigkeit wieder.

Für dieses Projekt wurde die Transfer-Randbedingung für die oberen vier Slices des Grundwassermodells definiert.

Die an den Stationen Long Tho und Cai Mep aufgezeichneten Wasserstandsdaten stellen dabei die Werte für die Transfer-Randbedingung im Modell dar. Die Werte der Netzknoten, die zwischen den zwei Stationen entlang des Thi Vai Flusses gelegen sind, werden mittels Interpolation der gemessenen Zeitreihen berechnet (Abbildung 18).

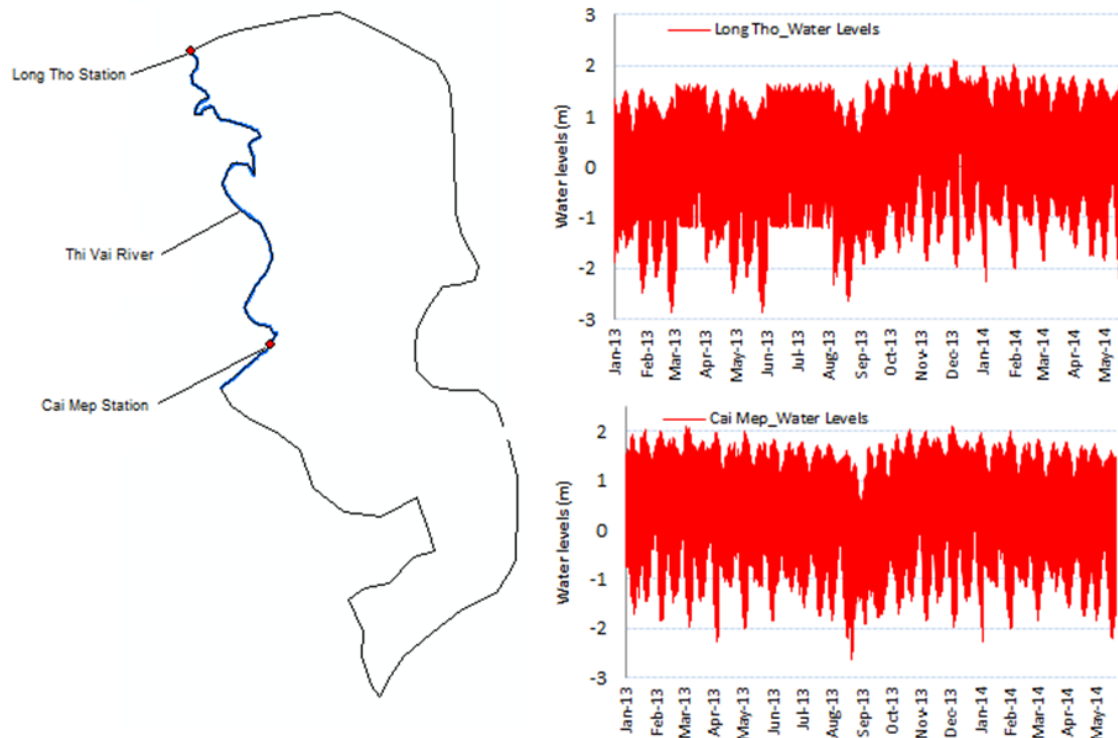


Abbildung 18: Darstellung der gemessenen Wasserstände an den Stationen Long Tho und Cai Mep für den Zeitraum Januar 2013 bis Mai 2014.

Die südliche Grenze des Modellgebietes grenzt an die Küste. Demzufolge werden die Wasserstände als constant hydraulic head Randbedingung (Dirichlet-Randbedingung) verwendet. Diese Randbedingung beschreibt einen zeitlich veränderlichen Wert für eine Variable an einem Knoten, z.B. „hydraulic head for flow“. Der Zu- und Abfluss in/aus dem Modellgebiet an einem Knoten kann anhand der Simulationsergebnisse berechnet werden (vgl. Abbildung 19).

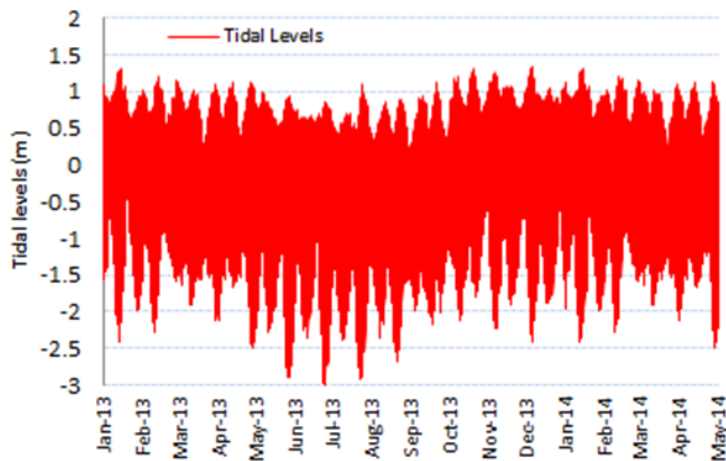


Abbildung 19: Darstellung der gemessenen Wasserstände an der Station Vung Tau für den Zeitraum Januar 2013 bis Mai 2014.

Die Tidedaten wurden von der Station Vung Tau bezogen, welche automatisch in einem 10-Minuten-Intervall aufgezeichnet worden sind. Abbildung 19 zeigt die für den Zeitraum zwischen Januar 2013 und Mai 2014 gemessenen Wasserstände. Diese Daten wurden im Grundwassermodell für die Simulation der Gegenwart verwendet. Die zeitlich veränderlichen Werte der Tidedaten werden den acht Slices im Modellgebiet zugeordnet (Abbildung 17).

### 1.7.3.2 Wasserentnahme

Die Wasserentnahme über Brunnen für industrielle, häusliche und landwirtschaftliche Zwecke wird im Modell über Brunnen-Randbedingungen (Well-BC) implementiert. Die Brunnen-Randbedingungen beschreiben die Wassereinspeise- und Wasserentnahmemengen an einem Knoten in  $\text{m}^3/\text{d}$ . Die Förderraten, die als instationär betrachtet werden, werden für jeden Brunnen im Modell über eine Potenzfunktion berücksichtigt.

Wie bereits unter Kapitel 1.3.5.1 erwähnt, geht aus dem Bericht "Research on groundwater levels in Ba Ria-Vung Tau province" von Le Van Hai (2008) hervor, dass die Grundwasserentnahmen für die Trinkwasserversorgung, Industrien und Landwirtschaft zwischen  $413$  und  $51.575 \text{ m}^3/\text{d}$  liegen. Der Distrikt Tan Thanh fördert  $51.575 \text{ m}^3/\text{d}$ , gefolgt von der Stadt Ba Ria ( $27.029 \text{ m}^3/\text{d}$ ) und Vung Tau ( $413 \text{ m}^3/\text{d}$ ). Da im Untersuchungsgebiet die Förderdauer und -rate bislang nicht untersucht bzw. gemessen worden ist, wird für das Modell eine Förderrate zwischen  $2000$  und  $2500 \text{ m}^3/\text{d}$  angenommen.

### 1.7.3.3 Grundwasserneubildung

Wie bereits unter Kapitel 1.4.4 beschrieben, erfolgte die Einbindung der Grundwasserneubildung aus der Übernahme aus den berechneten Grundwasserneubildungen aus dem Programm PANTA RHEI. Die Jahreswerte liegen zwischen  $0 \text{ mm/a}$  (bei mächtiger undurchlässiger Deckschicht im Teileinzugsgebiet) bis zu  $500 \text{ mm/a}$  (hoch durchlässige sandig-kiesige Oberbodenart).

#### **1.7.3.4 Anfangsbedingungen**

Anfangsbedingungen legen die Grundwasserverhältnisse zu Beginn der Simulation fest. Für ein instationäres Grundwassermodell sind die Anfangsbedingungen Teil der mathematischen Problemstellung und beeinflussen die Modellergebnisse insbesondere zu Beginn der Simulation.

In dieser Arbeit wurden die mittleren Grundwasserstände der Beobachtungsbrunnen als Anfangsbedingungen für das Grundwassermodell festgelegt.

#### **1.7.3.5 Zeitliche Diskretisierung**

Für die instationäre Simulation ist eine zeitliche Diskretisierung festzulegen. In FEFLOW können drei unterschiedliche Optionen ausgewählt werden:

- konstanter Zeitschritt,
- variierender Zeitschritt,
- automatische Zeitschritt-Anpassung.

Konstante Zeitschritte haben den Nachteil, dass während der gesamten Simulationsdauer, der Zeitschritt die Simulation dominiert, der für den dynamischsten Zeitraum während der Simulation abgeschätzt wird. Variierende Zeitschritte bieten mehr Flexibilität. Allerdings ist die Länge jedes einzelnen Zeitschrittes im Voraus festzulegen. Daher wird in den meisten FEFLOW-Simulationen eine automatische Zeitschritt-Anpassung genutzt, die eine geeignete Zeitschrittlänge anhand der Veränderung der Variablen (Wasserstand, Konzentration, Temperatur) zwischen den einzelnen Zeitschritten berechnet. Diese wurde auch im vorliegenden Modell verwendet.

#### **1.7.3.6 Zu- und Abflüsse über die Ränder**

Der mittlere großräumige Grundwassergleichenplan, der dem IfW zur Verfügung stand, zeigt für die nördlichen und südlichen Modellgrenzen Stromlinien, das Gebiet entwässert fast senkrecht zum Hauptvorfluter Thi Vai (vgl. Abbildung 20).

Da keine Daten entlang der Randpotentiallinie vorhanden waren – aufgrund fehlender Messstellen mit entsprechenden Zeitreihen - wurde für diese östliche Randbedingung/Anfangsbedingung die Höhe der Wasserspiegellage aus Abbildung 20 entnommen.



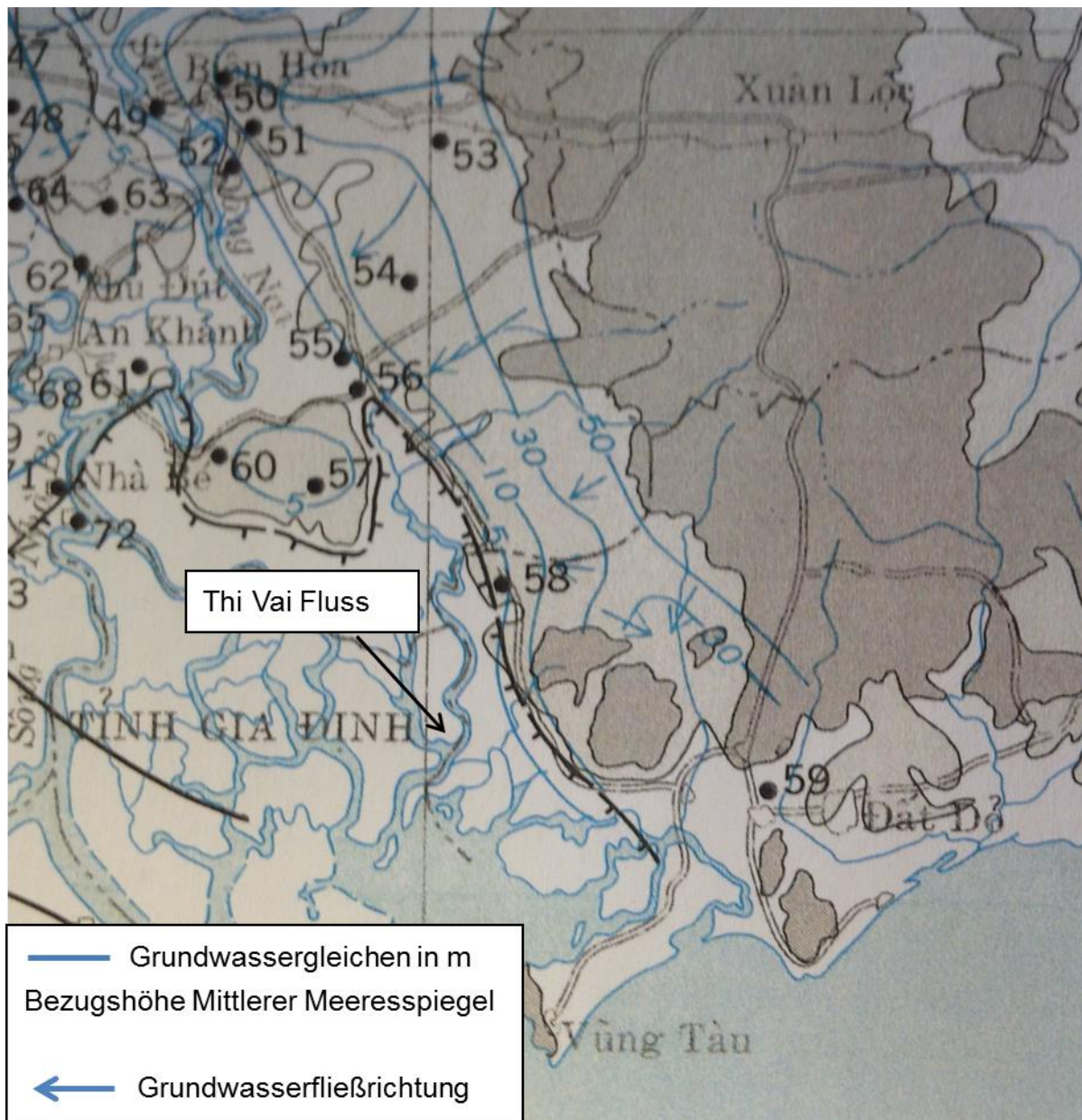


Abbildung 20: Kartenausschnitt Thi Vai Einzugsgebiet mit regionalem Grundwassergleichenplan (DONRE, 2013c).

## 1.8 Modellkalibrierung und -validierung

Die Modellkalibrierung und -validierung wurde anhand der ausgewählten Grundwassermessstellen durchgeführt (vgl. Abbildung 21).

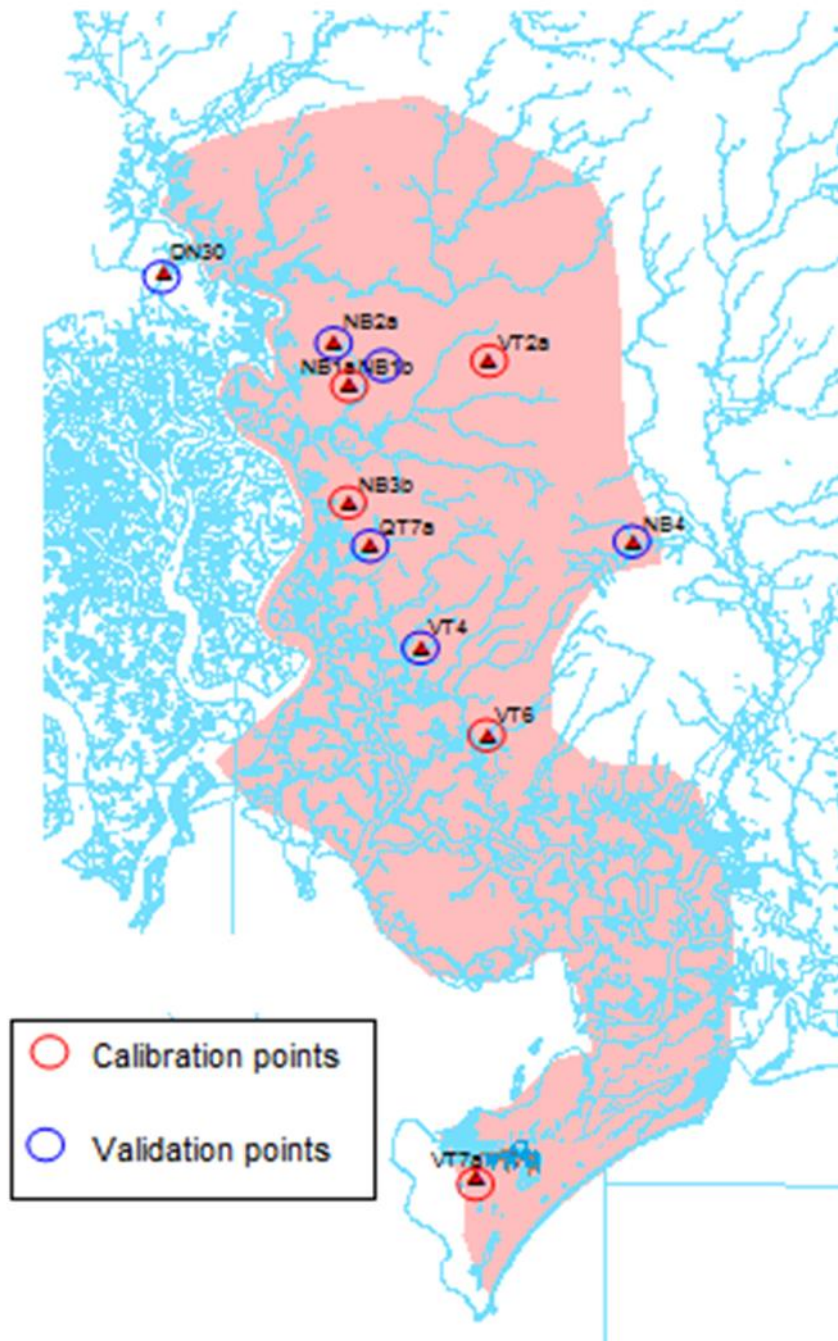


Abbildung 21: Monitoring-Punkte für die Modellkalibrierung und -validierung.

### 1.8.1 Allgemeine Informationen zur Kalibrierung

Aufgrund der aufwendigen Netzgenerierung und der unvollständigen Datengrundlage, deren Beschaffung und Erarbeitung bis in den Kalibrierungszeitraum hinein dauerte, konnten die ersten Berechnungen erst im November 2013 erfolgen.

Eine umfangreiche Variation der Parameter, wie Transferkoeffizient, Durchlässigkeit, Aquiferunterkante, war notwendig, um adäquate Anpassungen zu erzielen. Insbesondere die östlich gelegenen Lokationen, die eine sehr lückenhafte Datenlage aufwiesen, sowie die Ermittlung der Transferkoeffizienten waren lange im Fokus der Arbeiten. Des Weiteren erfolgte in vielen Bereichen eine Anpassung von Randbedingungen, z.B. im Gewässerlängsschnitt und bei der Knotenverteilung an den Wasserentnahmen. Des Weiteren war das Erkennen und Umsetzen weiterer Einflussgrößen, wie z.B. der angesprochenen Entnahmen mit großem Aufwand verbunden. Insgesamt waren mehr als 100 Rechenläufe zur Kalibrierung notwendig.

In dieser Arbeit diente der Zeitraum von 1986 bis 2005 als Modellierungszeitraum für das Kalibrieren des Modells. Dabei wurden die charakteristischen Parameter so variiert, dass das grundlegende Verhalten des Modells nachgefahren werden konnte. Die prinzipielle Lage der Grundwassergleichen konnte so den aus früheren Untersuchungen bekannten Grundwassergleichen angepasst werden. Diese erhaltene Bedingung wurde dann als Anfangsbedingung für die Verteilung der Grundwasserhöhen angenommen. Anschließend wurde das Modell für den Zeitraum April 2013 bis April 2014 unter instationären Bedingungen - auf der Grundlage der verfügbaren Eingangsdaten sowie der aufgezeichneten Grundwasserstände - kalibriert. Die Beobachtungsbrunnen NB1A, VT2A, NB3B, VT6 und VT7A wurden für die Modellkalibrierung herangezogen, während die Beobachtungsbrunnen DN30, NB2A, NB1B, QT7A und VT4 der Modellvalidierung dienten (Abbildung 21).

Während der Kalibrierung des Grundwassermodells, wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Die Beobachtungen über die Höhen der Grundwasserspiegel,
- die Geophysikalische Daten wie seismische, terrestrische und luftgestützte elektromagnetische Daten für die Beschreibung der Stratigrafie,
- die Geophysikalische Messungen zur Abbildung der geologischen Störungen – Lage und Dichte,
- die Aufzeichnungen über die Grundwasserentnahmen,
- und die Schätzungen über die Grundwasserneubildung und Evapotranspiration.

Nach jedem Modelldurchlauf mit einem bestimmten Parametersatz wurden die Unterschiede zwischen verschiedenen Modelldurchläufen verglichen und ggf. neue Parametersätze gewählt, um eine bessere Übereinstimmung zwischen den Modellergebnissen und den gemessenen Daten zu erzielen. Zum Beispiel:

- ein Anstieg der hydraulischen Leitfähigkeiten führt zu einer Abnahme der Grundwasserstände und Gradienten sowie zu einer schnelleren Reaktionszeit,
- ein Anstieg der Speicherkoeffizienten führt zu einer langsameren Reaktionszeit in Bezug auf die Veränderung des Grundwasserstandes durch Grundwasserneubildungs- und Pumpprozesse,



- ein Anstieg der Grundwasserneubildung führt zu einem Anstieg der Grundwasserstände und Gradienten.

### 1.8.2 Modellgüte

Um die Abweichung zwischen den gemessenen und simulierten Daten quantifizieren zu können, werden in der Modellierung statistische Maße zur Bewertung der Modellgüte herangezogen. In dieser Arbeit wird der mittlere absolute Fehler (MAE) und die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE) verwendet. Der RMSE berechnet sich aus der Wurzel der aufsummierten Quadrate der Abweichungen zwischen Messung und Simulation geteilt durch die Anzahl der Messungen:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H'_i)^2}{n}}$$

mit:

n: Anzahl der Messungen

H<sub>i</sub>: Anzahl der simulierten Grundwasserstände zum Zeitpunkt i

H<sub>i</sub><sup>'</sup>: Anzahl der gemessenen Grundwasserstände zum Zeitpunkt i

Der MAE und RMSE zählen zu den meistverwendeten statistischen Maßen zur Bewertung der Güte eines Grundwassermodells. Je kleiner der MAE und RMSE sind, desto besser ist die Übereinstimmung zwischen den Modellergebnissen und den Messdaten.

Um die gemessenen und simulierten Zeitreihen der Grundwasserstände an den ausgewählten Standorten zu vergleichen, wurden die modellierten Grundwasserstände als durchgezogene Linien und die aufgezeichneten Grundwasserstände als einzelne Punkte in einem Diagramm dargestellt. Auf dieser Grundlage ist es möglich, sowohl den Fortschritt einer erfolgreichen Kalibrierung zu erkennen als auch herauszufinden, an welchen Stellen des Modells möglicherweise nachgebessert werden muss.

### 1.8.3 Ergebnisse der Kalibrierung

Um die Entwicklung des Grundwasserspiegels über die Zeit bewerten zu können, wurden die simulierten Grundwasserstände mit den an den fünf Beobachtungsbrunnen gemessenen Grundwasserständen über den Kalibrierungszeitraum von April 2013 bis April 2014 miteinander verglichen (Abbildung 22). Im Allgemeinen ist festzuhalten, dass das Modell sowohl die Dynamik, als auch die Größenordnung der Grundwasserstände an den jeweiligen Brunnen gut bis befriedigend abgebildet hat. Dieser Zusammenhang wird durch ein MAE von 0,1-0,87 m und einem RMSE von 0,15-0,95 m belegt.

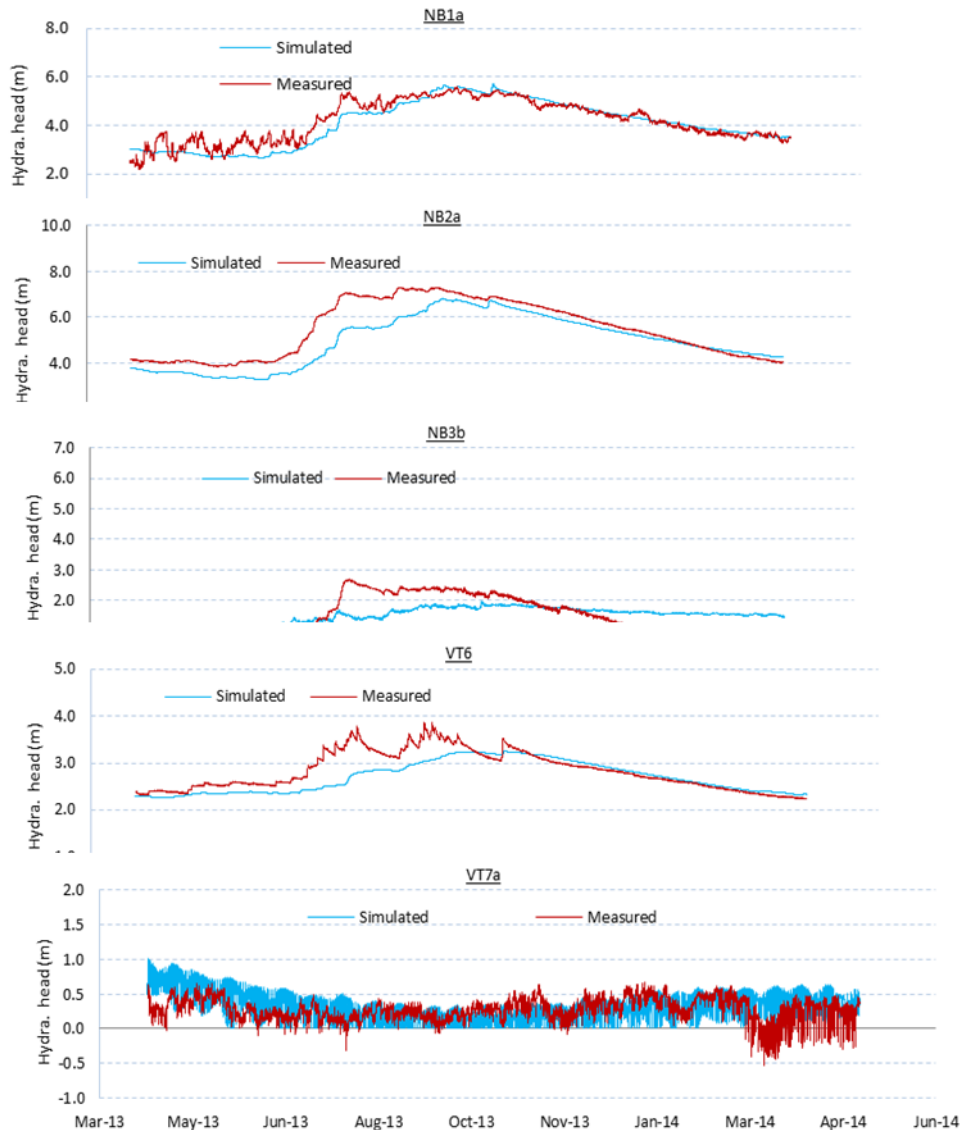


Abbildung 22: Vergleich der kalibrierten und gemessenen Grundwasserstände an den 5 Beobachtungsbrunnen.

An einigen Beobachtungsbrunnen wird der Grundwasserstand in der Zeit zwischen Juli 2013 und August 2013 geringfügig unterschätzt. Dies ist vermutlich auf lokale Ereignisse zurückzuführen. Da die Wettereignisse lokal sehr unterschiedlich und ebenfalls hochdynamisch sind, wird die Versickerung des Niederschlages während dieser Ereignisse nicht durch das Modell erfasst.

In Abbildung 23 ist die räumliche Verteilung der Grundwasserstände für den 30. April 2014 sowohl in 2D als auch in 3D dargestellt. Die Grundwasserstände werden in Form einer farblichen Differenzierung dargestellt, wobei dunklere Farben auf niedrigere Grundwasserstände innerhalb des Modellgebietes weisen. Die simulierten Ergebnisse zeigen, dass die höheren Grundwasserstände vor allem im Nordosten auftreten, während die niedrigen Grundwasserstände im Westen und Süden zu verzeichnen sind. Ergänzend dazu sind die Isolinien der Grundwasserstände in einem Abstand von 2 m abgebildet. Die Werte liegen zwischen 0 und 38 m. Grundsätzlich ist ein Gefälle der Grundwasserstände hin zur Küste des Modellgebietes (südwestliche Grenze) zu beobachten. Dieser Verlauf entspricht

damit dem Verlauf der Grundwassergleichen, die auch für die Vergangenheit abgebildet wurden (vgl. Abbildung 20).

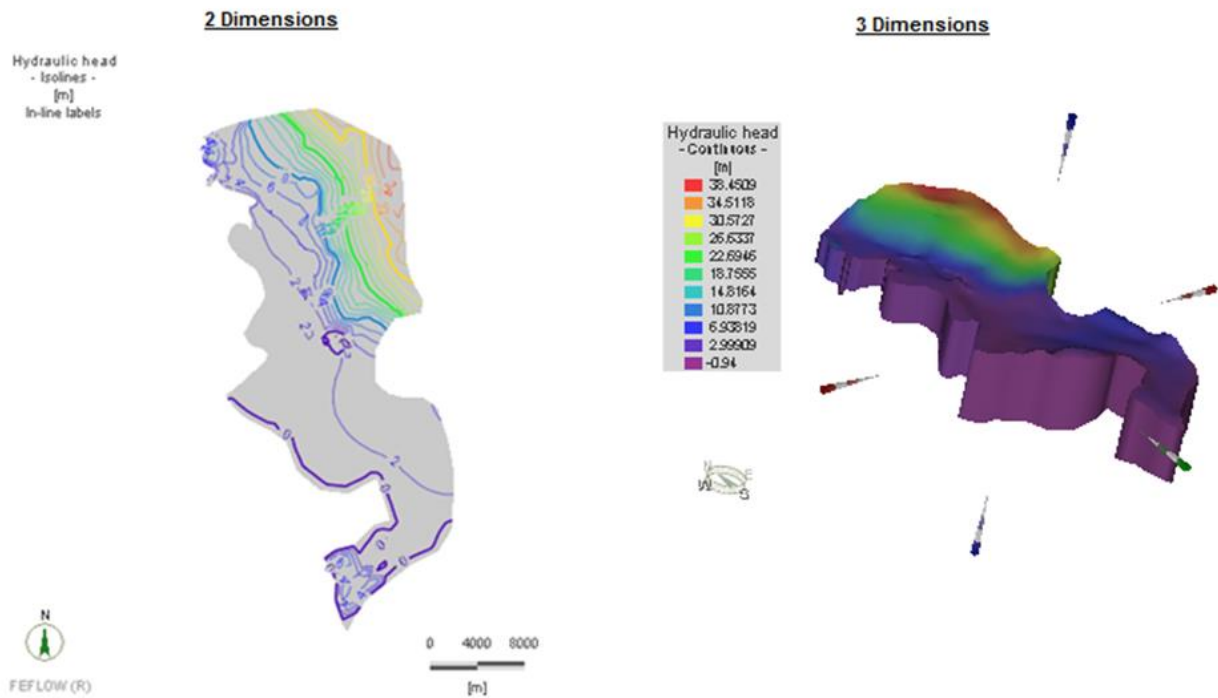


Abbildung 23: Darstellung der räumlichen Verteilung der Grundwasserstände.

### 1.8.4 Ergebnisse der Validierung

Die übrigen Beobachtungsbrunnen (DN30, NB2A, NB1B, QT7A und VT4) wurden für die Validierung des Grundwassermodells herangezogen. Der Vergleich der gemessenen und simulierten Grundwasserstände an diesen Beobachtungsbrunnen ist in Abbildung 24 dargestellt.

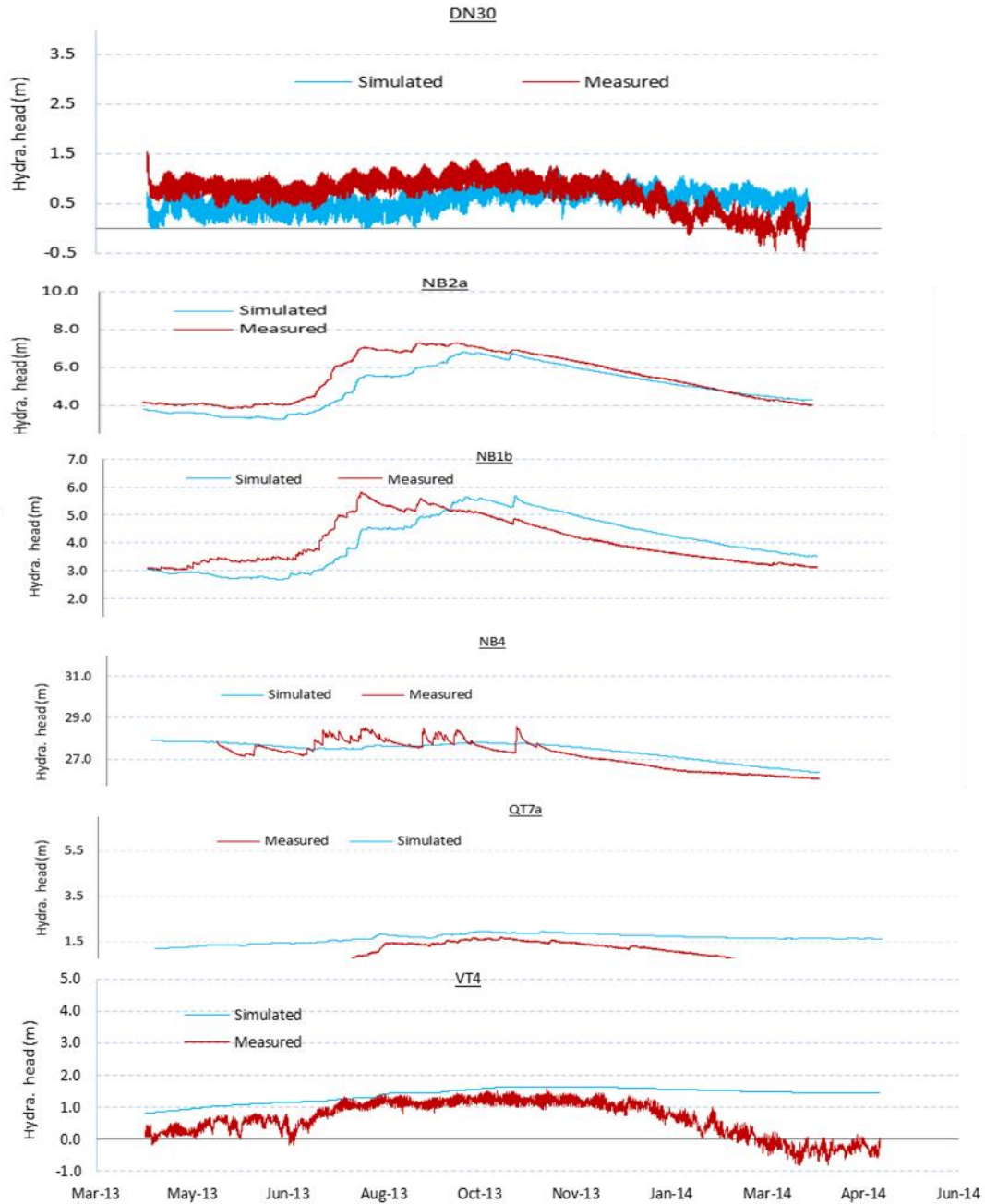


Abbildung 24: Vergleich der validierten und gemessenen Werte für die Grundwasserstände an den 6 Beobachtungsbrunnen.

Die Werte für den MAE und RMSE liegen zwischen 0,2 und 1,03 m bzw. zwischen 0,3 und 1,15 m. Diese Werte zeigen, dass das FEFLOW-Modell für die Simulation der Grundwasserströmungen im Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses und dessen Umland geeignet ist.

Anhand der Simulationsergebnisse und des Vergleiches zwischen gemessenen und simulierten Grundwasserständen der Kalibrierung und Validierung ist zu erkennen, dass das Modell für zukünftige Langzeitvorhersagen des Grundwasserverhaltens angewendet werden kann.

Die Simulationsergebnisse an dem Beobachtungsbrunnen DN30, der in der Nähe des Thi Vai Flusses gelegen ist, zeigen, dass die Größenordnung sowie der zeitliche Verlauf der simulierten Werte in etwa mit den gemessenen Werten übereinstimmen (Abbildung 24). Darüber hinaus sind die Schwankungen des Grundwasserspiegels ähnlich zu denen des Thi Vai Flusses. Dies verdeutlicht, dass der Grundwasserstand bzw. das Grundwasser des Brunnens DN30 zum einen durch den Wasserstand im Thi Vai Fluss beeinflusst und zum anderen durch die Versickerung des Flusswassers über das Flussbett des Thi Vai Flusses neugebildet wird. Ein ähnlicher Zusammenhang kann an dem Brunnen VT7A beobachtet werden, an dem der Grundwasserstand ebenfalls durch die Tide beeinflusst wird (Abbildung 9). Wie bereits weiter oben beschrieben (Kapitel 1.3.5.3 Grundwasserdynamik), konnten jedoch keine Hinweise auf einen Wassertransport nachgewiesen werden. Dieser hätte bei Intrusion von Salzwasser aus dem Thi Vai Fluss als steigender Salzgehalt in den angesprochenen Brunnen detektiert werden müssen. Dies konnte jedoch nicht beobachtet werden. Daher wird hier angenommen, dass es sich um ein Druckphänomen handelt, das steigendes Flusswasser auf den in diesen Teilbereichen vermutlich gespannten Aquifer ausübt und so eine Reaktion des Grundwasserspiegels (in diesem Fall der Grundwasserdruckfläche) induziert.

Gleichzeitig ist anhand der Grundwasserströmungen an den anderen Beobachtungsbrunnen (ausgenommen DN30 und VT7A) zu erkennen, dass das Grundwasserverhalten in den verschiedenen Aquiferen nicht durch Wasserstandsänderungen im Thi Vai Fluss beeinflusst wird. Es muss somit vermutet werden, dass in den größten Bereichen des Untersuchungsgebietes keine Wechselwirkung zwischen den Wasserständen im Thi Vai Fluss und den Grundwasserständen vorliegt. Gleichwohl sind in flussnahen Bereichen der Grundwasserleiter solche Beeinflussungen nicht generell auszuschließen.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass der Grundwasserstand in den verschiedenen Aquiferen insbesondere durch den Niederschlag im Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses und dessen Umland beeinflusst wird.

## **1.8.5 Problempunkte**

Das Modellgebiet ist sehr groß und weist eine wasserwirtschaftlich hohe Komplexität auf. Die eingeflossene Informationsmenge war aufgrund der fehlenden Datenkollektive nicht adäquat groß. Während des Modellaufbaus hat sich daher gezeigt, dass nicht für alle Teilgebiete (entsprechend der Aufteilung in PANTA RHEI) ausreichend Informationen vorliegen, um die Grundwasserströmung im gesamten Modellgebiet durchgehend aussagekräftig zu beschreiben. Die Ursachen und eventuelle Lösungsansätze, die in die künftige Modellnutzung einfließen können, sollen im Folgenden diskutiert werden.

### **1.8.5.1 Veränderungen des Sohl-niveaus im Gewässerverlauf**

Das Oberflächengewässer Thi Vai konnte zeitvariant beschrieben in das Modell eingehen. Die Wasserstände stammten aus den Aufzeichnungen der Oberflächenwasserpegel. Obwohl sehr genaue Oberflächenwasserpegel verwendet wurden, konnten nicht alle Veränderungen

der Wasserspiegellagen z.B. aufgrund von Sohlniveauveränderungen mit Wasserständen in der geforderten Genauigkeit parametrisiert werden.

Somit ergaben sich Wasserspiegelverläufe, die nicht mit den linear zwischen zwei Pegeln interpolierten Werten übereinstimmen.

Für den weiteren Modellbetrieb und die Pflege ist es wünschenswert, die genannten Extrema im Sohlniveau und evtl. Bauwerke bzw. bauliche Veränderungen mit einzubeziehen. Daher sollten diese in ihrer Lage und dem entsprechenden Niveau digital erfasst werden und zur Beschreibung der Randbedingungen mitverwendet werden.

### **1.8.5.2 Nicht bekannte Entnahmemengen**

Obwohl die DONREs die staatlichen bzw. kommunalen Entnahmen und auch Entnahmen Dritter registrieren, sind nicht alle Entnahmemengen und Entnahmelokationen bekannt.

Es lassen sich im Modellgebiet mehrere Bereiche finden, die auch mit einer starken Parametervariation keine adäquate Anpassung aufweisen. Da der Wasserstand sich schnell mit Beginn der Simulation auf ein deutlich höheres Niveau einstellt und auch die umliegenden Randbedingungen überprüft wurden, kann vermutet werden, dass in diesen Bereichen Informationen fehlen oder fehlerbehaftet sind.

### **1.8.5.3 Schwache Datenlage im östlichen Teil des Modellgebietes**

Der östliche Teil des Modellgebietes ist hinsichtlich der geologischen Verhältnisse, der Oberflächenwasserstände und der Entnahmen nur schlecht dokumentiert. So konnte nur ein Teil der geführten Gewässer tatsächlich in das Modell implementiert werden. Dieser Datenmangel führt in einigen Bereichen vermutlich zu unsicheren Kalibrierungen.

### **1.8.5.4 Abschließende Betrachtung der instationären Kalibrierung**

Insgesamt ist die Anpassung der berechneten Grundwasserstände als gut bis befriedigend zu bezeichnen. In der Regel kann insbesondere die Dynamik sowie das Niveau der Ganglinien adäquat nachgebildet werden. Dabei betragen die Abweichungen meist weniger als 50 bis 75 cm.

Aufgrund der beschränkten Daten, mussten in einigen Bereichen und zu einigen Zeitpunkten vergleichsweise große Abweichungen hingenommen werden, die zum Teil mehr als 1 m betragen. Das Niveau des Grundwassers wird im Allgemeinen relativ gut wiedergegeben, die Dynamik wird in einigen Bereich sogar sehr gut nachgebildet. In den anderen Bereichen erschweren vor allem der Stockwerksaufbau und die nur wenig dokumentierten geologischen Verhältnisse die Modellierung. Des Weiteren stellen die Grundwasserpotentiale in diesen Bereichen oft Mischpotentiale oder Messungen in schwebenden Grundwasserleitern dar, so dass ein Vergleich der Messungen nur stark eingeschränkt möglich ist. Interaktionen

zwischen einzelnen Grundwasserhorizonten sind nicht dezidiert beschrieben und bekannt bzw. aus den gelieferten Daten nicht eindeutig ablesbar.

Die Entnahmemengen sind nur an wenigen Lokationen verfügbar und dort teilweise zeitlich nicht aufgelöst. Durch diese eingeschränkte Datenverfügbarkeit kann der Betrieb der Entnahmeanlagen nicht abgebildet werden.

Zwar können die Entnahmen auf mehrere Modellknoten verteilt werden, aber eine Nachbildung der räumlichen Entnahmeverteilung ist damit nicht möglich. Es ergeben sich daraus entsprechend Abweichungen im näheren Umfeld der Brunnenanlagen.

Im Westen des Betrachtungsgebietes können aufgrund der schlecht dokumentierten Randbedingungenverhältnisse in einigen Bereichen die hydraulischen Verhältnisse nicht korrekt nachgebildet werden. Für die spezifischen Fragestellungen dieses Grundwassermodells ergibt sich daraus jedoch keine Relevanz, da das Modell nicht in erster Linie ein Planungsmodell für kleinräumige Maßnahmen im Grundwasserbereich darstellen sollte, sondern den regionalen Bezug zu sich verändernden Klimabedingungen abbilden sollte.

Sollten in Zukunft Betrachtungen angestellt werden, die ihren Fokus auf darüber hinausgehende Aufgaben legen, so ist eine verdichtete Dokumentation erforderlich, damit die steuernden hydraulischen Größen entsprechend in das Modell eingearbeitet werden können.

## **1.9 Einfluss des Klimawandels**

### **1.9.1 Berücksichtigung der Klimaänderung**

Der Anstieg der globalen Temperaturen führt gegenwärtig zu Veränderungen in der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation, die wiederum eine Veränderung des Niederschlagsverhaltens und anderen extremen Wetterereignissen hervorrufen können. Durch globale Klimaveränderungen ist eine Beeinflussung des Wasserkreislaufes, der Wasserstände in Oberflächengewässern sowie der Grundwasserneubildung in Aquiferen und damit verbundene Auswirkungen auf natürliche Ökosysteme und menschliche Aktivitäten zu erwarten.

Vietnam zählt zu den am meisten durch Naturkatastrophen gefährdeten Ländern und wird durch den Klimawandel stark beeinflusst. Steigende Temperaturen, jahreszeitliche Schwankungen der Niederschläge sowie ein Anstieg des Meeresspiegels sind die drei Hauptprobleme in Vietnam. Aus dem Bericht des ISPONRE (2009) geht hervor, dass die mittleren Jahrestemperaturen um 0,5-0,7 °C pro Jahrzehnt ansteigen. Simulationen über die zukünftigen Klimaveränderungen in Vietnam zeigen, dass die Temperaturen bis zum Jahr 2070 weiter um 0,3 bis 2,5 °C ansteigen werden, was insbesondere auf die Lebensmittelproduktion einen erheblichen Einfluss nimmt (Asian Disaster Preparedness Center, 2003).

Im Rahmen des Verbundprojektes EWATEC-COAST werden sowohl die anthropogenen Einflüsse als auch die natürliche Klimavariabilität und die zukünftige Klimaänderung

berücksichtigt. Das Gesamtziel des Verbundvorhabens ist die Entwicklung, Bereitstellung und der Einsatz von Wasser- und Umwelttechnologien sowie Dienstleistungstools in Form eines Managementsystems zur nachhaltigen Verbesserung der Umwelt- und Lebensbedingungen der genannten Küstenzone in Südvietnam. Die zukünftigen Klimaänderungen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Temperatur und des Niederschlages haben könnten, werden für das Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses zwischen 2046 - 2065 untersucht.

In dieser Arbeit wurde die zukünftige Entwicklung der Grundwasserströmungen analysiert, um die potentiellen Einflüsse des Klimawandels (Temperatur- und Niederschlagsänderungen) zu bewerten, die zu einer Veränderung der Grundwasserneubildung (Abbildung 25) im Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses sowie dessen Umland führen.

Auf Grundlage der zukünftigen Eingangsdaten über 20 Jahre (2046-2065) können die Ergebnisse der für die Zukunft berechneten Grundwasserstände bei der Entwicklung eines nachhaltigen Grundwasserressourcenmanagements im Projektgebiet hilfreich sein.

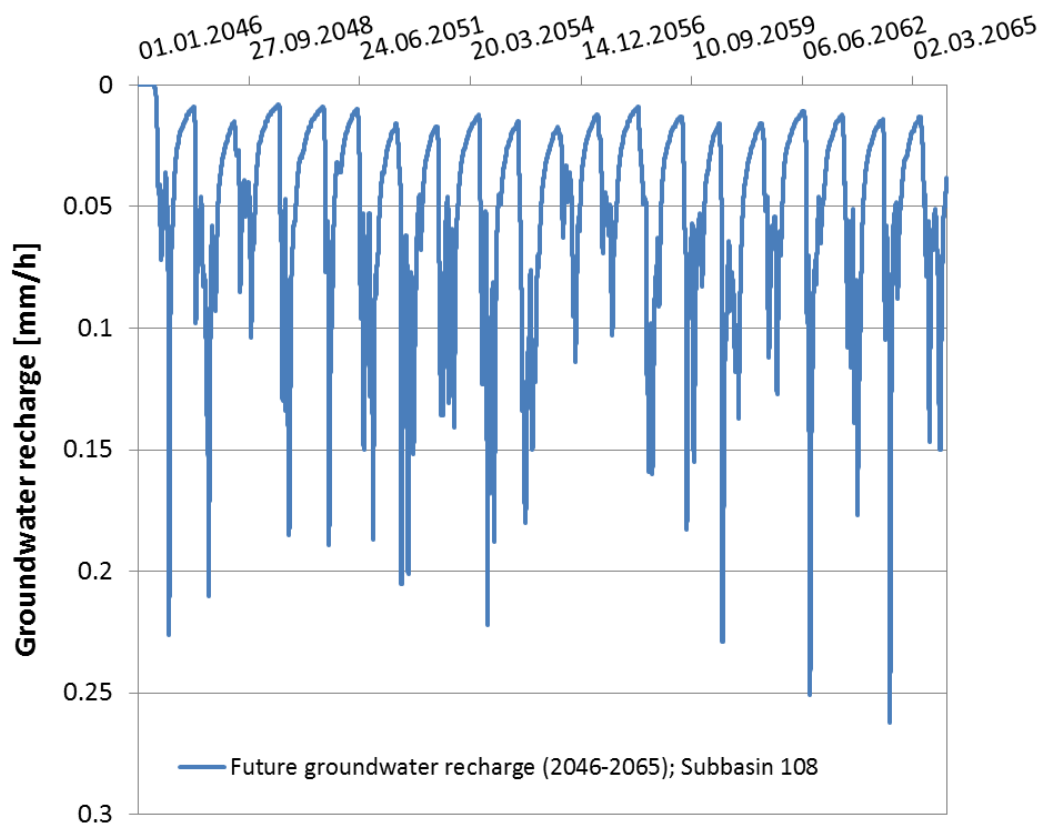


Abbildung 25: Darstellung der in PANTA RHEI berechneten täglichen Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 2046 bis 2065, exemplarisch für Teilfläche 108.

### 1.9.2 Simulationsergebnisse des Zukunftsszenarios (2046-2065)

Für die Simulation der Grundwasserströmungen des Zukunftsszenarios (2046-2065) wurden die Eingangsdaten bezüglich der Grundwasserneubildung, der Transfer-Randbedingung und der Potentialrandbedingungen verändert. Die anderen Faktoren wie zum Beispiel die



Brunnen-Randbedingung und die hydraulischen Eigenschaften wurden im Modell beibehalten. Die Simulationsergebnisse des Zukunftsszenarios (2046-2065) sind in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt.

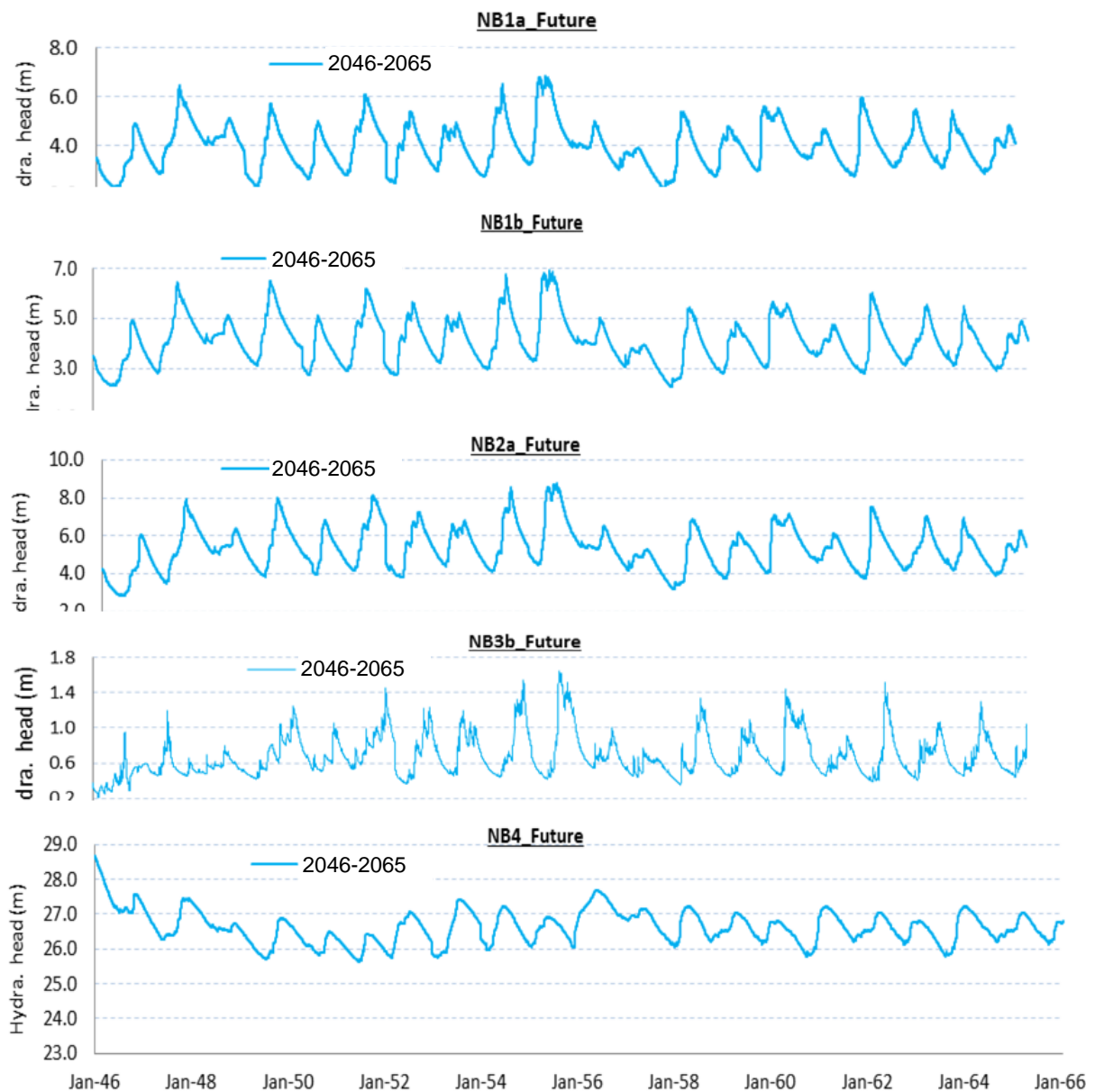


Abbildung 26: Simulierte Grundwasserstände an den verschiedenen Beobachtungsbrunnen für den Zeitraum 2046-2065.

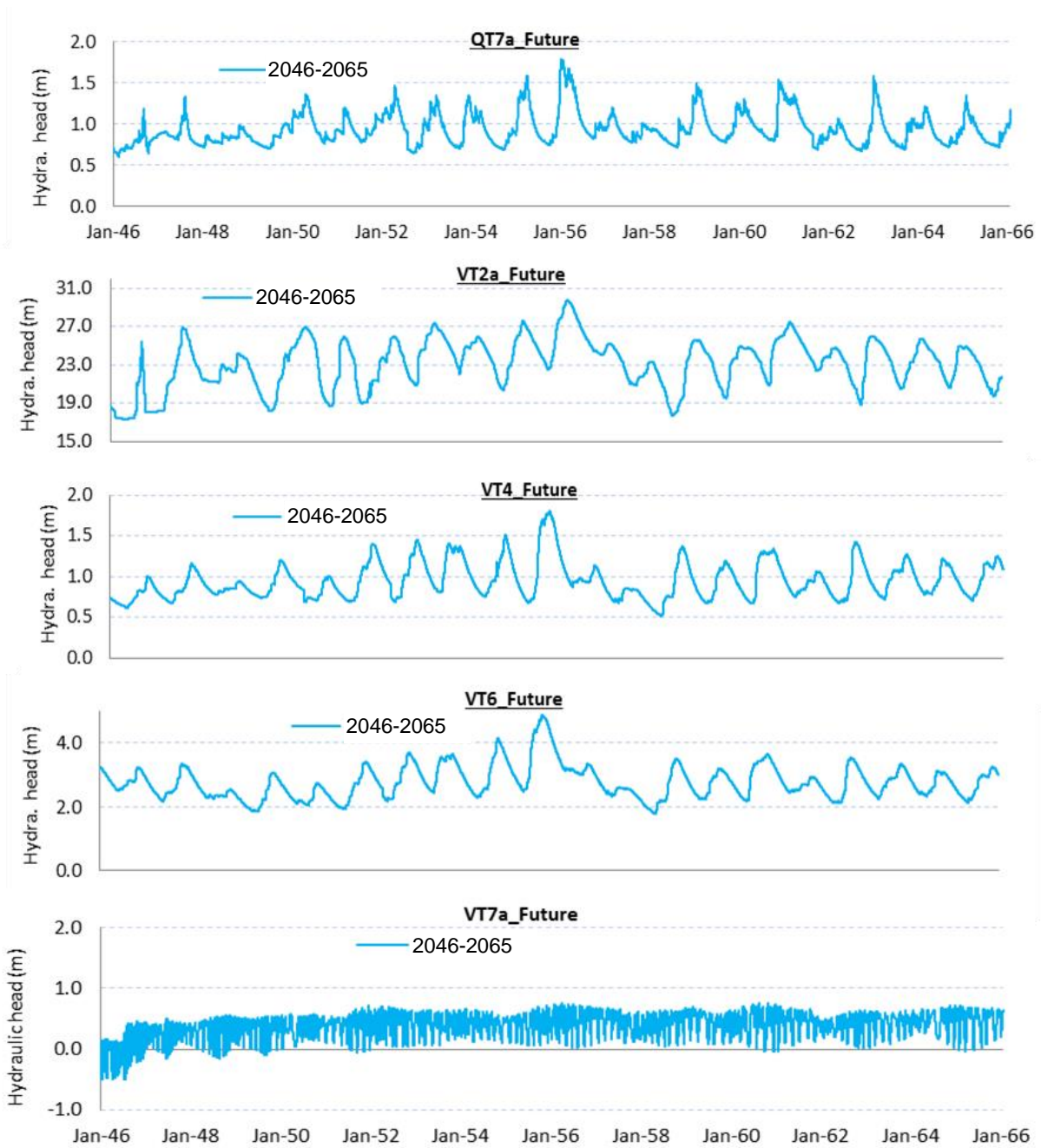


Abbildung 27: Simulierte Grundwasserstände an den verschiedenen Beobachtungsbrunnen für den Zeitraum 2046-2065.

### 1.9.3 Vergleich der vergangenen, derzeitigen und zukünftigen Wasserstände

Um das Grundwasserverhalten der Vergangenheit (1986-2005), der Gegenwart (2013-2014) und der Zukunft (2046-2065) miteinander zu vergleichen, werden die Veränderungen der Grundwasserströme im Untersuchungsgebiet an den vier Beobachtungsbrunnen NB1A, NB2A, VT2A und VT6 gegenübergestellt (vgl. Abbildung 28).

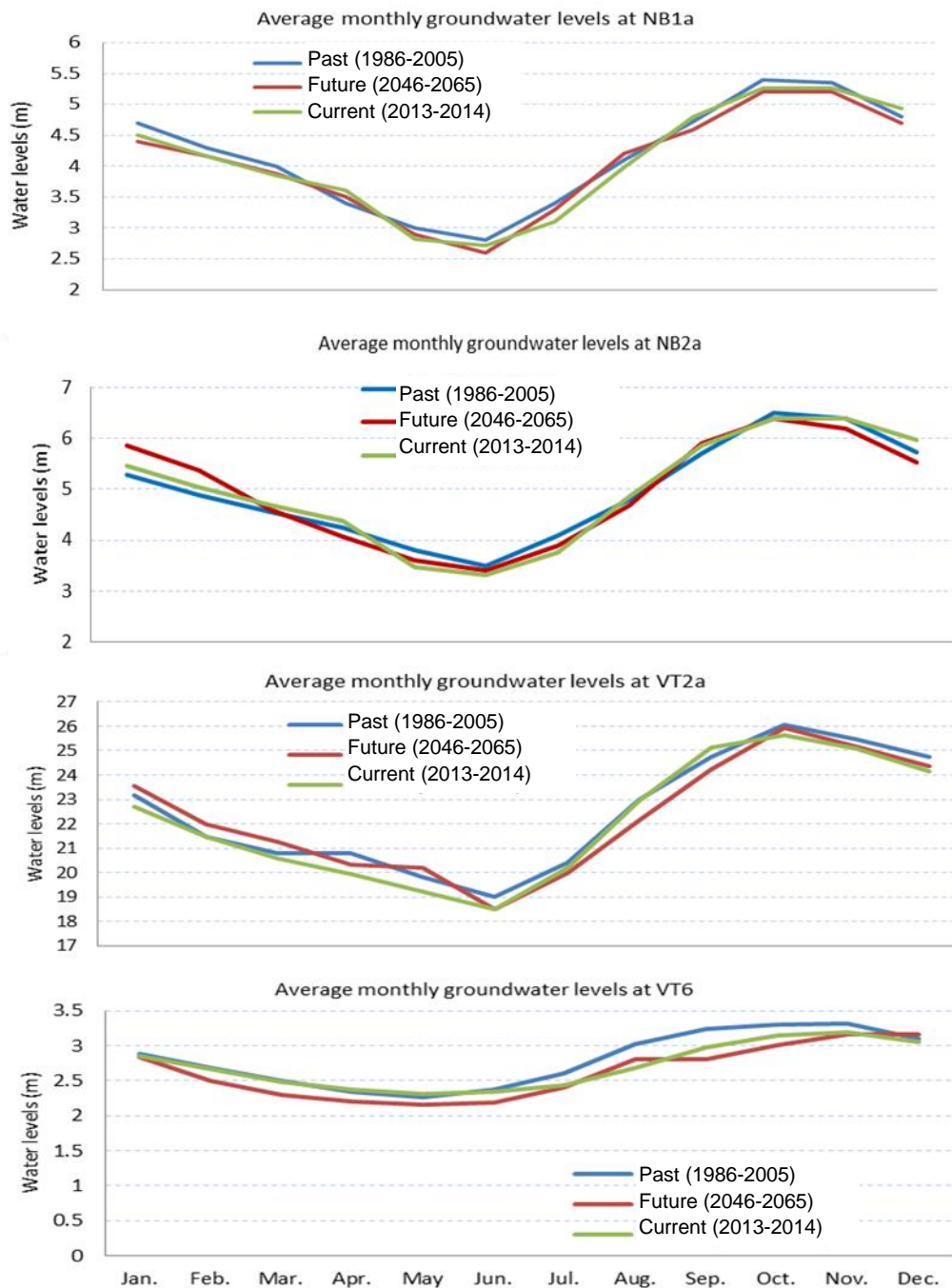


Abbildung 28: Vergleich der mittleren monatlichen Grundwasserstände an den Beobachtungsbrunnen NB1A, NB2A, VT2A und VT6.

Ein Vergleich der mittleren monatlichen Grundwasserstände in Abbildung 28 zeigt, dass zwischen den einzelnen zeitlichen Perioden nur geringe Unterschiede vorliegen. Die niedrigsten Grundwasserstände sind zwischen Mai und Juli zu verzeichnen, während die höchsten Grundwasserstände zwischen Oktober und November auftreten. Dies ist auf die zeitliche Verteilung des Niederschlages im Untersuchungsgebiet zurückzuführen.

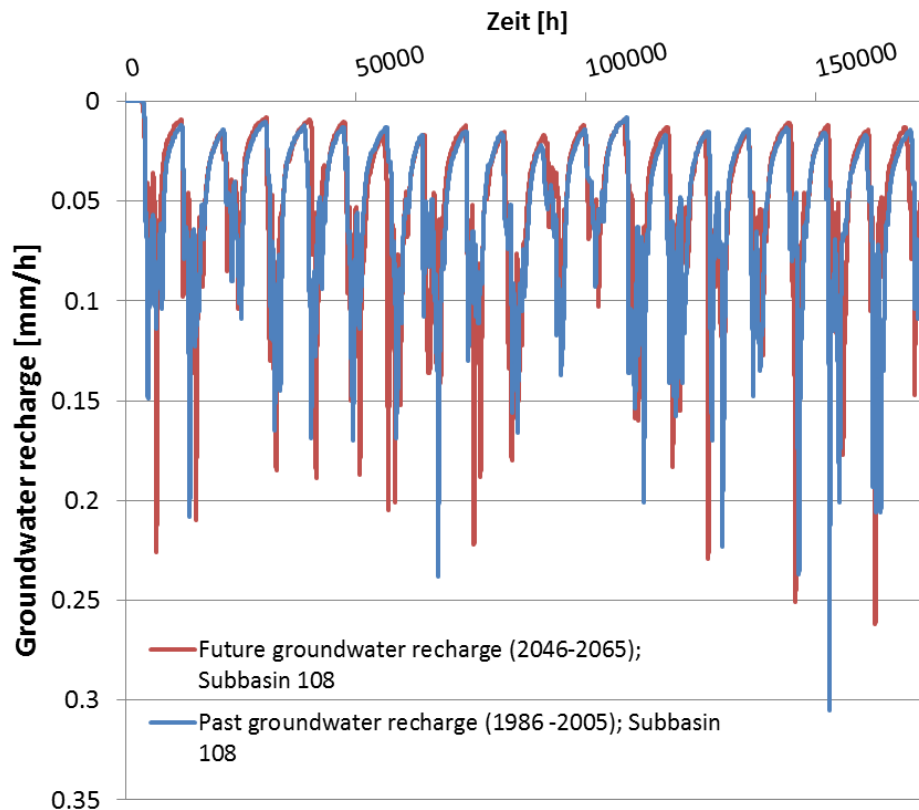


Abbildung 29: Vergleich der täglichen Grundwasserneubildung für die Zeitperioden Vergangenheit (1986-2005) und Zukunft (2046-2065), exemplarisch für Teilfläche 108.

Die Grundwasserneubildung ist der dominierende Faktor, der das Grundwasserverhalten im Untersuchungsgebiet beeinflusst. Anhand von Abbildung 29 ist erkennen, dass die Größenordnung und der zeitliche Verlauf der Grundwasserneubildung für die Jahre 1986-2005 sowie 2046-2065 relativ ähnlich ist. Dieser Vergleich zeigt, dass sich das Grundwasserverhalten zwischen diesen beiden Perioden nur unwesentlich ändert.

## 1.10 Schlussfolgerung und Diskussion

Auf der Grundlage von verfügbaren Daten und einem konzeptionellen hydrologischen Modell wurde ein Grundwassermodell für ein Untersuchungsgebiet aufgebaut, das im Wesentlichen dem Einzugsgebiet des Thi Vai Flusses und dessen Umland entspricht. Das Modell wurde so konzipiert, dass es mit dem ökohydrologischen Modell des Forschungsvorhabens EWATEC-COAST gekoppelt werden konnte. Die Kalibrierung erfolgte an Beobachtungsbrunnen mit einer hohen Auflösung der Grundwasserdaten in einem Zeitraum von April 2013 bis April 2014. Während der Kalibrierung wurde das Modellgebiet in Zonen mit unterschiedlichen Aquifereigenschaften - wie zum Beispiel hydraulische Leitfähigkeit, Porosität und

spezifischer Speicherkoeffizient - unterteilt. Im Folgenden wurden die Bewertung und der Vergleich des Grundwasserverhaltens in der Vergangenheit (1986-2005) und Zukunft (2046-2065) berücksichtigt. Wesentliche Ergebnisse dieser Arbeit sind:

- Im Bereich des Thi Vai Flusses finden geringe Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und dem Flusswasser statt.
- Anhand der verfügbaren Daten konnten keine erhöhten Salzkonzentrationen in dem an das Ästuar angrenzenden Grundwasserleiter nachgewiesen werden.
- Der Niederschlag ist der dominierende Faktor in Bezug auf das Grundwasserverhalten der Messstationen im Binnenland des Untersuchungsgebietes.
- Die Veränderung der Grundwasserstände zwischen den betrachteten Zeiträumen in der Vergangenheit und Zukunft sind nicht signifikant.

Obwohl die simulierten Modellergebnisse eine moderate bis gute Übereinstimmung mit den Messdaten zeigen, wird die Anwendung des Modells aus folgenden Gründen beschränkt:

- i) Die Kenntnisse über das Aquifersystem sind derzeit noch begrenzt; die Informationen über die Stratigrafie und Lithologie sind nicht ausreichend.
- ii) Die Informationen über die vertikale und horizontale hydraulische Leitfähigkeit sind gar nicht oder nur eingeschränkt vorhanden.

Des Weiteren fehlen Parameter der Aquifereigenschaften wie zum Beispiel die effektive Porosität und der spezifische Speicherkoeffizient. Deshalb wurde eine Schätzung dieser Parameter anhand vorhandener Studien (Literaturstudien), die in Einzugsgebieten mit ähnlichen Bedingungen erfolgten, durchgeführt.

Neben der Bedeutung der stratigrafischen und geologischen Eigenschaften eines Aquifers, haben auch die Randbedingungen einen erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse. Für die Bestimmung der Grundwasserentnahmen und Förderraten von privaten und kommerziell genutzten Brunnen liegen keine Messungen vor. Die Werte der Grundwasserentnahmen wurden auf der Grundlage von Untersuchungen in Industriegebieten und Wohngebieten abgeschätzt. Darüber hinaus wurde die Transferrate bislang nicht ausreichend untersucht.

In Bezug auf die Simulation des Zukunftsszenarios wurden nur die Informationen über die Klimadaten und die Tide im Modell berücksichtigt. Andere relevante Faktoren wie zum Beispiel die Änderung der Landnutzung, ein Anstieg der Grundwasserentnahmen infolge Bevölkerungswachstums, Zunahme der Industriebesiedlung, etc. wurden vernachlässigt. Diese Vernachlässigung ergab sich zwingend aus der nicht ausreichenden Datenlage insbesondere bzgl. der Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes. Es ergibt einfach keinen Sinn, so komplexe Bezüge wie eine Landnutzung in das Simulationsmodell einzubauen, wenn bereits der Aufbau des Modells mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Diese Einschränkungen führen naturgemäß zu ungenauen Ergebnissen des zukünftigen Grundwasserverhaltens im Untersuchungsgebiet.

Im Rahmen weiterführender Forschungen sollten weitergehende Untersuchungen über die Aquifereigenschaften und Förderraten durchgeführt werden, um die Genauigkeit des Modellaufbaus und damit der Modellergebnisse zu verbessern. Die Erweiterung des Modells um die Prozesse Transport und dichteinduzierte Strömungen wäre ebenfalls ein weiterer Schritt, um die komplexen Strömungsprozesse an der Salz-Süßwassergrenze nachzubilden.

## 1.11 Literaturverzeichnis

Anderson, M. P.; Woessner, W. W., 2002. Applied groundwater modelling: Simulation of flow and advective transport, USA. Asian Disaster Preparedness Center (ADPC), 2003. Climate Protection Programme Climate Change and Development in Vietnam: Agriculture and Adaptation for the Mekong Delta Region.

BMBF, 2012a: Zuwendungsbescheid zu 02WCL1217A CLIENT Vietnam-Verbundprojekt Technologien zum nachhaltigen Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam (EWATEC-COAST), 26.6.2012, unveröffentlicht.

Busch, K., Luckner, L. und Tiemer, K. (1993): Geohydraulik, Lehrbuch der Hydrogeologie Band 3, 3. neubearbeitete Auflage, Gebrüder Borntraeger Berlin – Stuttgart.

Chen, D.B., 2002: Investigation the Balance at North Stradbroke Island with MODFLOW and PEST-ASP. Balancing the Groundwater Budget. 7th IAH National Groundwater Conference, Darwin, Australia.

Dang Ding Phuc, 2008: General on groundwater resources.

Darcy, H., 186: Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon. Dalmont, Paris.

Diersch, H.G., 1979: FEFLOW – Finite element modeling of flow, mass and heat transport in porous and fractured media, Springer, 2014, Berlin Heidelberg, XXXV, 996p., ISBN 978-3-642-38738-8, ISBN 978-3-642-38739-5 (eBook), doi:10.1007/978-3-642-38739-5.

Diersch, H.-J.G. (1999): Interactive, graphics-based finite-element simulation system FEFLOW for modeling groundwater flow, contaminant mass and heat transport processes. FEFLOW Reference Manual, WASY, Berlin.

Diersch, H.-J. G., 2008: FEFLOW® 5.4 Users Manual. Berlin, Germany, WASY - Institute for Water Resources Planning and System Research.

Diersch, H.-J.G., 2009: Reference Manual. Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System. DHI-WASY, Berlin.

Diersch, H.-J.G., 2014: FEFLOW – Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Doan, V.C; Le, T. L., 2005: Vietnamese scientific studies published in national journals.

Doherty, J., 2001: PEST-ASP User's Manual. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia.

DONRE, 2013a: Übermittlung von Höhendaten (Digitales Höhenmodell) des Untersuchungsgebietes durch das Department of Natural Resources and Environment (DONRE) Ba Ria – Vung Tau. Pers. Mitt..

DONRE, 2013b: Peres. Mitteilung durch das Department of Natural Resources and Environment (DONRE) Ba Ria – Vung Tau.

Eric Bayer, 2011: Integrated water resources management, Dong Nai River Basin.

EUROPÄISCHE UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie) vom 22.12.2000, Luxemburg

FEFLOW, 2014: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media, Diersch, Hans-Joerg, ISBN: 978-3-642-38738

Greenwood, W.J., Kruse, S. und Swarzenski, P., 2006: Extending Electromagnetic Methods to Map Coastal Pore Water Salinities. Groundwater, Vol. 44, no. 2: 292-299.

Hoang, D.N; Larsen, 2008: National Groundwater Monitoring Well Data from 1995-2010, collected by the National Centre of Water Resources Planning & Investigation (CWRPI, unpublished).

ISPONRE, 2009: Vietnam assessment report on climate change. Institute of Strategy and Policy on Natural Resources and Environment (ISPONRE).

Koch, A., 2007: Modellierung der hydrodynamischen Wechselwirkung einer Flusslandschaft, Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 23, Institut der für Hydrologie der Universität Freiburg i. Br. Freiburg.

Koch, A., Meon, G. und Leibundgut, C. 2007: Die gekoppelte Simulation der 2D-Oberflächenwasser- und 3D-Grundwasserströmung im Rahmen eines Expertensystems zur Modellierung der hydrodynamischen Wechselwirkungen einer Flusslandschaft. In: G. Meon et al. (Ed): "Grundwasser, Hochwasser und Salzwasser: Konzepte zur Risikominimierung." E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Langevin, C.D., 2009: SEAWAT: A Computer Program for Simulation of Variable-Density Groundwater Flow and Multi-Species Solute and Heat Transport: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2009-3047.

Le Van Hai, 2008: Research on groundwater levels in Ba Ria-Vung Tau province.

Lin, H.C., Richards, D.R., Yeh, G.T., Cheng, J.R., Cheng, H.P., und Jones, N.L., 1997: FEMWATER: A threedimensional finite element computer model for simulating density-dependent flow and transport in variably saturated media. Technical Report CHL-97-12. Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS 39180-6199.

LWI, 2016: Abschlussbericht Teilprojekt TP3 „Oberflächenwasser“ zum Projektantrag BMBF Themenfeld "CLIENT" Vietnam-Verbundprojekt aus dem März 2012 - Technologien zum nachhaltigen Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam (EWATEC-COAST) [Technologies for Water and Environment Protection of Coastal Zones in Vietnam]

Masterson, J.P., Pope, J.P., Monti, Jack, Jr., und Nardi, M.R., 2011: Assessing groundwater availability in the North Atlantic Coastal Plain aquifer system: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2011-3019.

McDonald, M.G; Harbaugh. A.W., 1988. A modular three dimensional Finite-Different Groundwater flow model. U.S Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, book 6, chap. A1, 568 p.



Monninkhoff, B. und Kaden, S., 2007: Coupled modeling of groundwater and surface water for integrated, sustainable water management in wetlands, 2nd UNESCO Training Course on Sustainable Groundwater Management for North China, Jinan, March 19th – 22nd, 2007, D-8-1 – 10.

Nguyen Van Cu, 1996: Geological Mapping of Nam Dinh – Thai Binh.

Nguyen Van Do, 1996: Hydrogeological Mapping 1:50 000 with Explanations.

Nguyen Van Dan, 2009: Reports of the Northern Division of CWRPI.

Nguyen Tien Hung, 2004: Modelling of Groundwater flow in Dong Nai province

Obersdorfer, J.A., 2003: Hydrogeologic modeling of submarine groundwater discharge: comparison to other quantitative methods. *Biogeochemistry* 66: 159-169.

Payne, D., 2010: Effects of Sea-Level Rise and Pumpage Elimination on Saltwater Intrusion in the Hilton Head Island Area, South Carolina, 2004-2104. Scientific Investigations Report 2009-5251, US Dep. of the Interior, USGS.

Richards, L.A., 1931: Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*. 1 (5): 318-333.

Santos, I.R., Burnett, W.C., Dittmar, T., Suryaputra, G.N.A. und Chanton, J. 2008: Tidal pumping drives nutrient and dissolved organic matter dynamics in a Gulf of Mexico subterranean estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73:1325–1339.

Sekhar, M., Rasmi, S.N., Sivapullaiah, P.V., Ruiz, L., 2004: Groundwater Flow Mod-eling of Gundal Sub-basin in Kabini River Basin, India. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, Vol. 1, No. 1 & 2, pp. 65.

Swarzenski, P.W., Martin, J. und Campbell, P.L., 2004: Groundwater-surface water exchange in Tampa Bay: Results from a geophysical and geochemical survey. In *American Society of Limnology and Oceanography Summer Meeting*, June, Savannah, Georgia.

Uppenberg, S., Wallgren, O., Åhman., 1997: Saturated horizontal hydraulic conductivity in an acid sulphate soil. *Avdelningsmeddelande / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik (0282-6569)*.

Voss, C.I., 1984: A finite element simulation model for saturated-unsaturated, fluid density de-pendent groundwater flow with energy transport od chemically reactive single species so-lute transport. *USGS Water Resources Investigation Report* 84-4369.

Wagner, F; Dang, T.T; Hoang, D.P; Lindenmaier, F., 201.: Assessment of Ground-water Resources in Nam Dinh Province.

Wingle, L.W., Poeter, E.P. und McKenna, S.A., 1999: UNCERT: geostatistics, uncertainty analysis and visualization software applied to groundwater flow and contaminant transport modeling. *Computers & Geosciences* 25:365-376.

Zippel, M. 2005: Modellgestützte Bilanzierung der unterirdischen Wasserressourcen Berlins - die Grundwassersituation im weiteren Einzugsgebiet des Müggelsees, Diss., FU Berlin, 2005



## 2. Zahlenmäßiger Nachweis

Die dem Institut für Wasserwirtschaft IfW GmbH für die Bearbeitung des Teilvorhabens 4 mit dem Teilprojekt TP4 zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel sind für folgende Maßnahmen eingesetzt worden:

- Personalausgaben
- Monitoring von Grundwasser
- Geschäftsbedarf
- Messgeber-Auslesegeräte
- Diver-Messdatenaufnehmer mit Speichereinheiten, (Druck, Temperatur, Leitfähigkeit), inkl. Kabel
- Softwarelizenzen
- Reisekosten

Der zahlenmäßige Nachweis ist dem BMBF in dem Formular „Verwendungsnachweis“ getrennt vom Bericht übergeben worden. Nachfolgend sind daraus die Gesamtsummen laut Fördermitteilung sowie die tatsächliche Verausgabung (noch nicht vom BMBF bestätigt) zusammengestellt.

	<b>Zuwendung laut Bescheid [€]</b>	<b>Verausgabung [€]</b>
Gesamte Selbstkosten	348.338,00	295.275,88
Förderquote	60%	60%
Zuwendung (Bundesanteil)	209.003,00	177.165,53

## 3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Forschungsbedarf für wissenschaftlich-technische Untersuchungen zur Beschreibung und zum Verständnis von komplexen wasserwirtschaftlichen Systemen mit dem Ziel einer modellhaften Abbildung ist auch in Vietnam mit der Zunahme der Belastungen von terrestrischen und aquatischen Ökosystemen in den letzten 20 Jahren nach dem Beginn der wirtschaftlichen Umstrukturierung unverändert hoch. Die zahlreichen kleinen und großen Umweltskandale und der daraus für die Umwelt und die Nutzer entstandene ökologische und wirtschaftliche Schaden hat dies verdeutlicht und führte in der Folge eines gestiegenen Umweltbewusstseins zu Diskussionen mit vietnamesischen Partnern und letztlich zur Beantragung und Durchführung des Verbundprojektes EWATEC-COAST.

Die insgesamt 9 Teilprojekte wurden von den genannten Partnern mit unterschiedlichem Fokus ausgeführt.

In Teilprojekt TP9 erfolgte die Zusammenführung sämtlicher unterschiedlicher Bausteine und Leistungen aus den einzelnen Teilprojekten Meteorologie und Klimawandel (TP2), Oberflächenwasser (TP3), Grundwasser (TP4), Mangrovenökosystem (TP5), Aquatische Organismen (TP6) und Küstenschutz (TP7). Diese Bausteine wurden in einer gemeinsamen Grundstruktur vereint und wurden nach Abschluss des Projektes in Form eines teilprojektübergreifenden integrierten Managementsystems zur Verfügung gestellt. Das erstellte Managementsystem leistet einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis des

Systems und seiner Teilsysteme und ist darüber hinaus durch die Modellbildung der Systeme und deren Umsetzung in numerische, prognosefähige Modelle in hervorragender Art und Weise geeignet, zukünftige Veränderungen, z.B. durch ein sich veränderndes Klima, abzubilden.

In dem hier beschriebenen Teilprojekt TP 4 wurde ein Grundwassermodell für ein Untersuchungsgebiet mit einer Fläche von etwa 625 km<sup>2</sup> aufgebaut. Es schließt Bereiche des Thi Vai Einzugsgebietes sowie Vung Tau Stadt ein. Das Modellgebiet ist als mesoskalig einzuordnen und weist dabei eine hohe hydrogeologische Komplexität auf. Diese Komplexität zeigt sich unter anderem in dem vertikalen Aufbau der vorhandenen Schichten, aber auch beim Bodenaufbau. Der Bodenaufbau und seine Wirkung auf die Grundwasserneubildung konnte durch die Nutzung des hydrologischen Modells PANTA RHEI aus Teilprojekt TP3 sehr gut und vergleichsweise hoch aufgelöst abgebildet werden. Die Kopplung mit den Ergebnissen aus PANTA RHEI (siehe auch Bericht, Kapitel 1.4.4) hebt das aufgebaute Grundwassermodell von anderen Modellen deutlich ab, bei denen häufig eine räumlich und/oder zeitlich konstante Grundwasserneubildungsrate angenommen wird.

Aus der komplexen Geologie wurden insgesamt sieben Schichten (Layer) abgeleitet. Die Layer 1, 3, 5 und 7 stellen Grundwasserleiter mit einer hohen hydraulischen Leitfähigkeit dar. Die übrigen Layer (2, 4 und 6) sind grundwasserhemmende Schichten, die eine niedrige bis sehr niedrige hydraulische Leitfähigkeit aufweisen. Insgesamt war die zur Verfügung stehende und aufbereitete Datenmenge zu geologischen, hydrogeologischen und strömungsrelevanten Parametern lückenhaft. Während des Modellaufbaus hat sich daher gezeigt, dass nicht für alle Teilgebiete (entsprechend der Aufteilung in PANTA RHEI) ausreichend Informationen vorliegen, um die Grundwasserströmung entsprechend den hohen Anforderungen zu beschreiben.

Parallel zum Modellaufbau wurde ein eigenes Grundwassermonitoringsystem eingerichtet und zur Kalibrierung des Grundwassermodells herangezogen. Unter Nutzung der eigenen Daten konnte mit dem entwickelten Grundwassermodell die Dynamik der Grundwasserströmung und in weiten Bereichen auch die Anpassung an die beobachteten Wasserspiegellagen im Modellgebiet gut bis befriedigend nachgebildet werden. Die Ergebnisse der Berechnungen für die Wasserspiegellagen der nahen und fernen Zukunft zeigen auf, dass nur mit geringen Einflüssen durch klimatische Änderungen auf das Grundwasserregime zu rechnen ist. Es wird deutlich, dass es vermutlich vielmehr die unterschiedlichen Entnahmeregime von vorhandenen und in Zukunft steigender Grundwasserentnahmen sein werden, die die Grundwasserspiegelhöhen und damit die Grundwasseroberflächen bzw. Grundwasserdruckflächen der betrachteten Grundwasserleiter beeinflussen werden. Diese Beeinflussung zeigt sich zunächst nur lokal, wird sich aber bei steigender Entnahme auch regional bemerkbar machen. Durch die Anwendung des Grundwassermodells konnte somit gut gezeigt werden, dass eine Nutzung der Ressource Grundwasser einen klimabedingten Einfluss deutlich überprägen kann.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass das durch das Forschungsvorhaben generierte Wissen und dessen praktische Umsetzung in einem Grundwasserprognosemodell für das Untersuchungsgebiet wertvolle Hinweise für eine zukünftige Bewirtschaftung geben können.

Es ist den Verfassern nicht bekannt, ob für das Untersuchungsgebiet ein ähnliches Grundwassermodell besteht. Dies ist nach Informationen der vietnamesischen Partner nicht der Fall. Vor dem Hintergrund des aufwendigen eigenen Monitorings von Grundwasserdaten, der erzielten Ergebnisse und den bestehenden Erweiterungsmöglichkeiten des Modells ist die Bearbeitungsdauer von 36 Monaten sowie die Höhe der gewährten Zuwendungen gerade auch mit Blick auf den Neuheitswert und der Verknüpfbarkeit mit anderen wasserwirtschaftlichen Modellen und Ergebnissen aus EWATEC-COAST angemessen.

#### **4. Voraussichtlicher Nutzen**

Der Nutzen des gesamten Verbundprojektes ergibt sich überwiegend aus den Fähigkeiten und Möglichkeiten der entwickelten und gekoppelten Einzelmodelle, deren Ergebnisse im Managementsystem zusammenfließen. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Kopplung zwischen dem hydrologischen Modell PANTA RHEI und dem Grundwassermodell, bezüglich Geländere relief und insbesondere Grundwasserneubildung ein deutliches Qualitätsmerkmal der durchgeführten Berechnungen darstellt.

Das in Teilprojekt TP4 entwickelte Grundwassermodell ist geeignet, die Strömungsdynamik sowie die Höhen der Grundwasseroberfläche im Einzugsgebiet entsprechend dem im Endbericht beschriebenen Rahmen abzubilden. Die Fähigkeit zur Verwendung als Prognosemodell wurde ebenfalls nachgewiesen. Der Nutzen dieses Modells wird sich konkret an der gestiegenen Nachfrage nach diesem Werkzeug durch die Regierungsbehörden zum Zwecke der Ermittlung von Entnahmerestriktionen aus dem Grundwasser zeigen. Das Modell wird bereits von den vietnamesischen Partnern (IER) verwendet. Es wird angestrebt, auch eine entsprechende Nutzung in den Regierungsbehörden mit Unterstützung der vietnamesischen Partner (IER) und vermutlich auch des Leichtweiß-Instituts zu initiieren. Da es sich bei der Software FEFLOW um ein kommerzielles Produkt handelt, ist die Übernahme in das Softwareportfolio von Regierungsbehörden noch zu klären. Eine Option der Nutzung ist, dass IfW GmbH in Kooperation mit der TU Braunschweig und dem vietnamesischen Hauptpartner IER als Dienstleister Aufgaben zur Pflege und Wartung des numerischen Modells übernimmt. Vereinbarungen hierzu stehen noch aus, sind zwischen den Partnern jedoch bereits diskutiert worden und sollen in einem Folgeantrag in der Förderinitiative CLIENT II eingehen.

#### **5. Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Keine anderen Projekte bekannt.

## 6. Veröffentlichungen

- Zuarbeit zur Präsentation von Gesamtprojektleiter Prof. Meon, TU BS, über EWATEC-COAST beim Workshop des BMBF-MOST-Büros am 19. März 2014 in Hanoi.
- Präsentation auf der ICENR2014 Konferenz am 18. Juni 2014 in Ho-Chi-Minh City: Regional Groundwater Modelling at the Thi-Vai River basin, Viet Nam (Lam Q.D. et al.)
- Workshop im Rahmen der ICENR2014 Konferenz am 19. Juni 2014 in Ho-Chi-Minh City: Groundwater Modeling with FEFLOW 6.1 – Example on the Thi-Vai river basin (Lam Q.D. et al.)
- Präsentation auf dem Closure Workshop am 15. September 2015 in Ho-Chi-Minh City, A regional groundwater model of the Thi Vai Basin (Lam, Q.D. et al.)
- Quang Dung Lam, Matthias Pätsch, Günter Meon, Nguyen Hong Quan, Mai Toan Thang, Stephan Lange (2014): The evaluation of groundwater level variations in a coastal zone using groundwater software FEFLOW  
In: Meon G., Pätsch M., Phuoc N.V., Quan N.H. (eds.) (2014): EWATEC-COAST: Technologies for Environmental and Water Protection of Coastal Zones in Vietnam. Contributions to 4th International Conference for Environment and Natural Resources, ICENR 2014. Cuvillier, Göttingen, Germany. ISSN: 2363-7218. ISBN: 978-3-95404-852-6.
- Vorgesehener Beitrag in der Fachzeitschrift „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“ Anfang 2017

# Anhang zu Teilprojekt 4

BMBF-Forschungsvorhaben  
Förderkennzeichen 02WCL1217D

## **Verbundvorhaben**

EWATEC-COAST  
CLIENT Vietnam – Verbundprojekt Technologien zum nachhaltigen  
Gewässer- und Umweltschutz von Küstenlandschaften in Vietnam

### **Teilvorhaben Nr. 4**

Teilprojekt TP4 Grundwasser

Nachfolgend sind für die verwendeten Brunnen folgende Informationen dargestellt:

- Koordinaten
- Skizze zum Aufbau und Maße des Brunnens
- Bohrprofil
- Monitoringinformationen (Ausrüstung, gemessene Parameter)

## Brunnenregister

Übersicht über die Brunnen im Untersuchungsgebiet, die während der Laufzeit des Projektes mit Messinstrumenten ausgestattet wurden.

ID	Name	Top of protection tube (m)	Top of concrete construction (m)	X (m)	Y (m)
1	DN27	27.408	27.050	1186262.000	710858.000
2	DN30	2.869	2.369	1180193.000	716185.000
3	CAU KY	1.140	1.050	1185736.000	715846.000
4	NB2A	10.659	10.438	1177794.740	722571.430
5	NB2B	10.616	10.427	1177793.020	722572.250
6	NB1A	8.222	8.047	1176451.950	723055.190
7	NB1B	8.263	8.068	1176452.770	723056.580
8	QT11	7.757	7.430	1175583.390	724865.710
9	NB3B	6.999	6.838	1172109.080	723026.520
10	QT07	3.922	Can not measure	1170556.150	723871.520
11	VT4B	1.512	Can not measure	1166873.000	725995.000
12	VT6	4.956	4.736	1163616.120	728223.780
13	7A	1.747	1.569	1159968.000	738025.000
14	VT7A	4.484	4.291	1146609.170	728373.560
15	VT7B	4.486	4.302	1146927.300	728380.560
16	9A	5.132	4.964	1145800.000	729313.000
17	9B	5.121	4.958	1145800.000	729313.000
18	BN4	28.900	Can not measure	1170709.270	733551.360
19	VT2A	33.227	Can not measure	1177426.000	724838.000

Well no.

DN 27 (qp3)

Coordinates

X : 1186262.00 Y: 710858.00

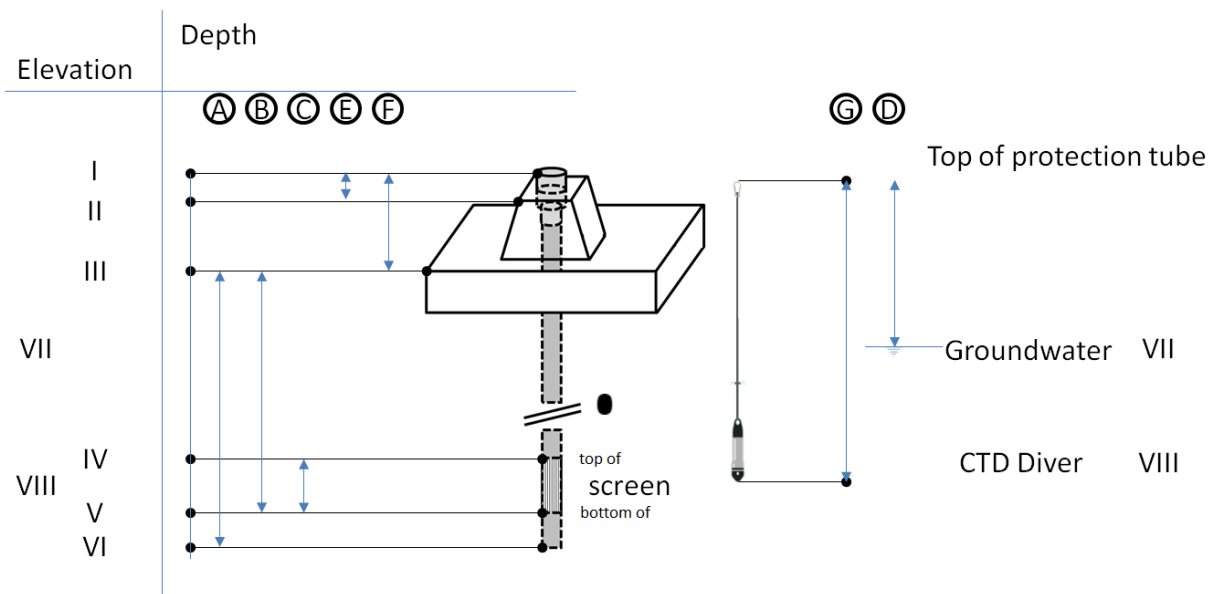
Location

Vicinity of Anh Khanh Company

General Construction



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	46.9	46.4	
B	III – V		42	
C	IV – V		12	
D (Water Level)	I – VII	16.22		
E	I – II	0.35		
F	I – III	0.5		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 27.408
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 27.058
III	Top of concrete foundation	EL 26.908
IV	Top of screen	[III – B + C] -3.092
V	Bottom of screen	[III – B] -15.092
VI	Bottom of well	[III – A] -19.992
VII	Groundwater Level	[I – D] 11.188
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] 7.618



# Drilling Profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV DN27

Hiệp Phước - Nhơn Trạch - Đồng Nai

TOA ĐỘ X: 710858,00  
 Y: 1186262,00  
 Z: 26,17  
 Số hiệu gốc: DN27

Ngày khởi công: 24/05/2006  
 Ngày kết thúc: 29/05/2006  
 Tỷ lệ: 1:250  
 Chiều sâu: 48,00

Thước tỷ lệ	Tuổi địa chất	Thứ tư lớp	Chiều sâu chân lớp (m)	Cột địa tầng	CẤU TRÚC LỖ KHOAN	MÔ TẢ THẠCH HỌC, TÍNH CHỨA NƯỚC
0	Q <sub>1</sub> <sup>2,3</sup>	1	0,6			
2		2	2,7			1. Bột cát
4						2. Bột cát
6						3. Bột sét
8						4. Cát bột
10		3	10,0			5. Bột cát
12		4	12,3			6. Cát bột
14	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	5	15,3		90	7. Cát bột
16					30,00	8. Cát thô lẫn sạn sỏi
18						9. Cát mịn
20						10. Cát bột
22						11. Cát bột
24		6	23,0			12. Cát bột
26						
28		7	27,5			
30						
32		8	31,5			
34						
36						
38	9	37,6				
40	10	39,5				
42	11	42,5				
44					90	
46					46,00	
48	12	48,0				
50						

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

**---**

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

***DN 27 / P0382***

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 16.22 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

Well no.

DN 30 (qp3)

Coordinates

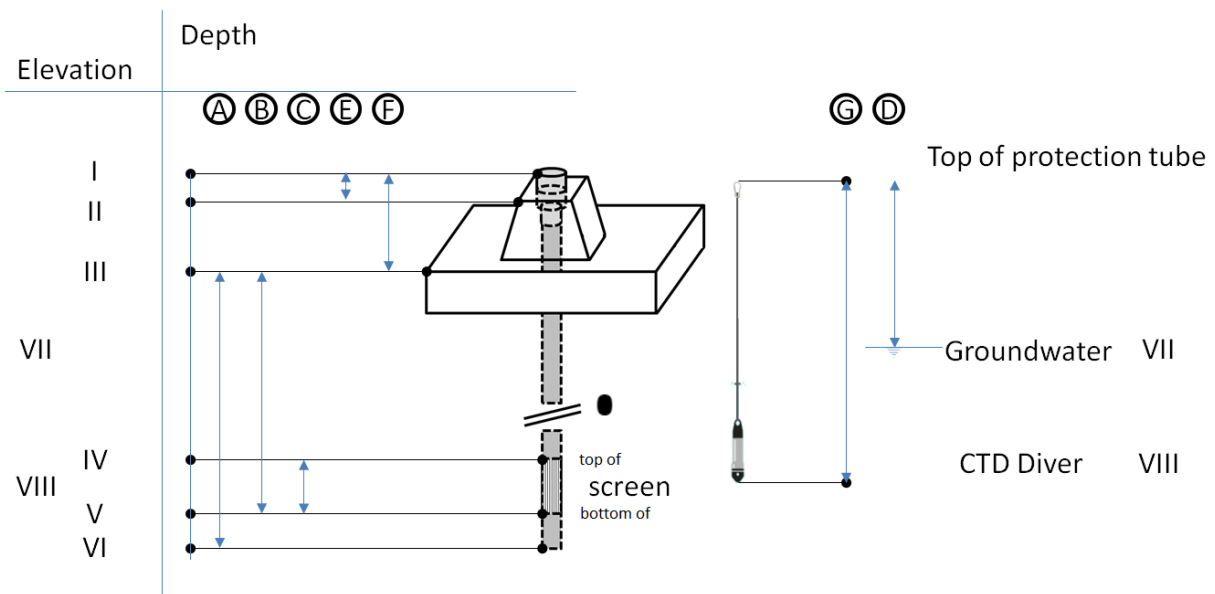
X: 1180193.00 Y: 716185.00

Location

General Construction



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	44.4	43.6	
B	III – V		44	
C	IV – V			
D	I – VII	1.59		
E	I – II	0.59		
F	I – III	0.8		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 2.869
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 2.279
III	Top of concrete foundation	EL 2.069
IV	Top of screen	[III – B + C] -33.931
V	Bottom of screen	[III – B] -41.931
VI	Bottom of well	[III – A] -42.331
VII	Groundwater Level	[I – D] 1.279
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -31.521

# Drilling Profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV DN30

Phước An - Nhơn Trạch - Đồng Nai

TOA ĐỘ X: 716185,00  
 Y: 1180193,00  
 Z: 1,77  
 Số hiệu gốc: ĐN30

Ngày khởi công: 17/12/2005  
 Ngày kết thúc: 20/12/2005  
 Tỷ lệ: 1:230  
 Chiều sâu: 45,00

Thước tỷ lệ	Tuổi địa chất	Thứ tư lớp	Chiều sâu chân lớp (m)	Cột địa tầng	CẤU TRÚC LỖ KHOAN	MÔ TẢ THẠCH HỌC, TÍNH CHỨA NƯỚC
0						
2	Q <sub>2</sub>	1	3,8			1. Cát mịn trung
4						2. Sét
6						3. Cát xen kẹp lớp bột
8	Q <sub>1</sub> <sup>2-3</sup>	2	8,0			4. Bột sét
10						5. Cát mịn
12						6. Cát xen kẹp lớp bột
14		3	14,0			7. Cát mịn trung lẫn sạn
16		4	16,5		90	
18					32,00	
20						
22		5	23,0			
24						
26	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>					
28						
30		6	31,0			
32						
34						
36					90	
38					40,00	
40						
42					90	
44		7	45,0		44,00	
46						

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

*Baro \_DN30/N3998*

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*DN 30 / P0382*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 1.59 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**NB 2 a (qp2-3)**

**Coordinates**

**X: 1177794.74 Y: 722571.43**

**Location**

**Industrial Zone My Xuan A**

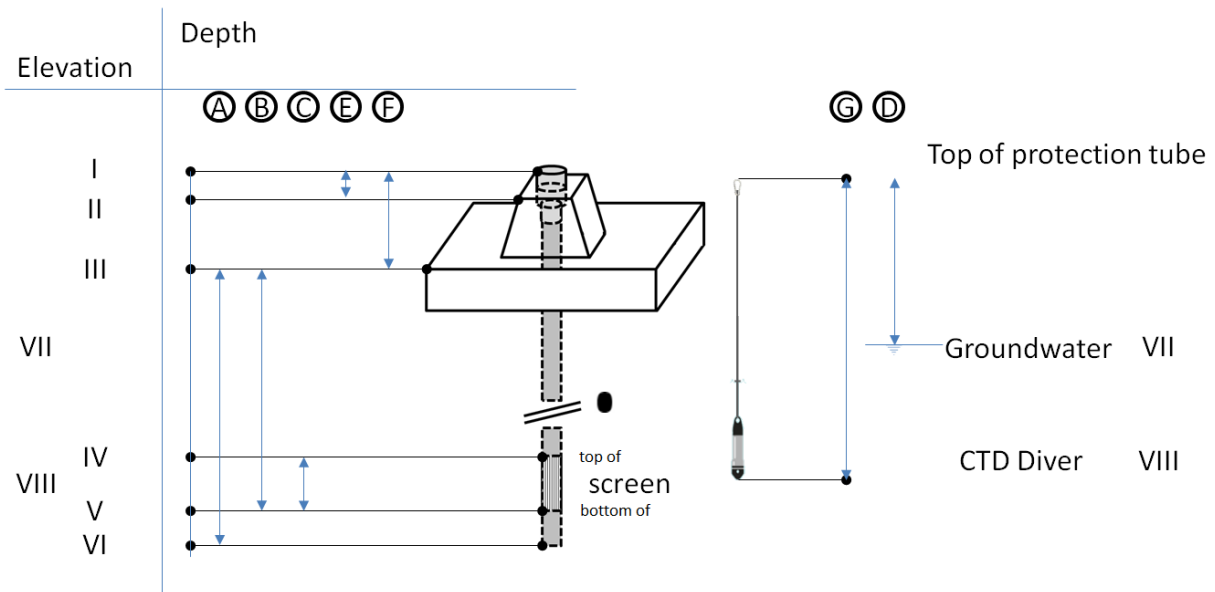


**General Construction**





## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete construction [m]	Length [m]
A	III – VI		<b>34</b>	
B	III – V		<b>32</b>	
C	IV – V			
D	I – VII	<b>6.23</b>		
E	I – II	<b>0.22</b>		
F	I – III	<b>0.43</b>		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 10.658
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 10.438
III	Top of concrete foundation	EL 10.228
IV	Top of screen	[III – B + C] -17.772
V	Bottom of screen	[III – B] -21.772
VI	Bottom of well	[III – A] 10.228
VII	Groundwater Level	[I – D] 4.428
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -2.022



# Drilling profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV NB2A

Mỹ Xuân - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

X: 722573,06  
 TOA ĐỘ Y: 1177791,35  
 Z: 9,57  
 Số hiệu gốc: NB2A

Ngày khởi công: 24/11/2008  
 Ngày kết thúc: 24/11/2008  
 Tỷ lệ: 1:180  
 Chiều sâu: 35,00

Thước thị lệ	Tuổi địa chất	Thứ tự lớp	Chiều sâu chân lớp (m)	Cột địa tầng	CẤU TRÚC LỖ KHOAN	MÔ TẢ THẠCH HỌC, TÍNH CHỨA NƯỚC
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	Q <sub>1</sub> <sup>2,3</sup>	1	1,0			1. Đất đắp
		2	2,0			2. Bạt cát
		3	3,0			3. Sét
		4	4,0			4. Cát mịn trung
		5	5,0			5. Bạt sét
		6	6,0			6. Cát mịn trung
		7	7,0			7. Bạt sét
		8	8,0			8. Cát mịn thô
		9	9,0			9. Sét
10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	10	11,0		30 28,00	
		11	12,0			
		12	13,0			
		13	14,0			
		14	15,0			
		15	16,0			
		16	17,0			
		17	18,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	18	17,0		30 22,00	
		19	18,0			
		20	19,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	21	21,0		30 34,00	
		22	22,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	23	23,0		30 34,00	
		24	24,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	25	25,0		30 34,00	
		26	26,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	27	27,0		30 34,00	
		28	28,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	29	29,0		30 34,00	
		30	30,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	31	31,0		30 34,00	
		32	32,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	33	33,0		30 34,00	
		34	34,0			
20 22 24 26 28 30 32 34 36	J <sub>2</sub>	35	35,0		30 34,00	
		36	36,0			

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

*baro\_nb2 / ser.no. cccc*

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*nb2a / P0372*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 6.32 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**NB 2 b (qp2-3)**

**Coordinates**

**X: 722572.25      Y: 1177793.02**

**Location**

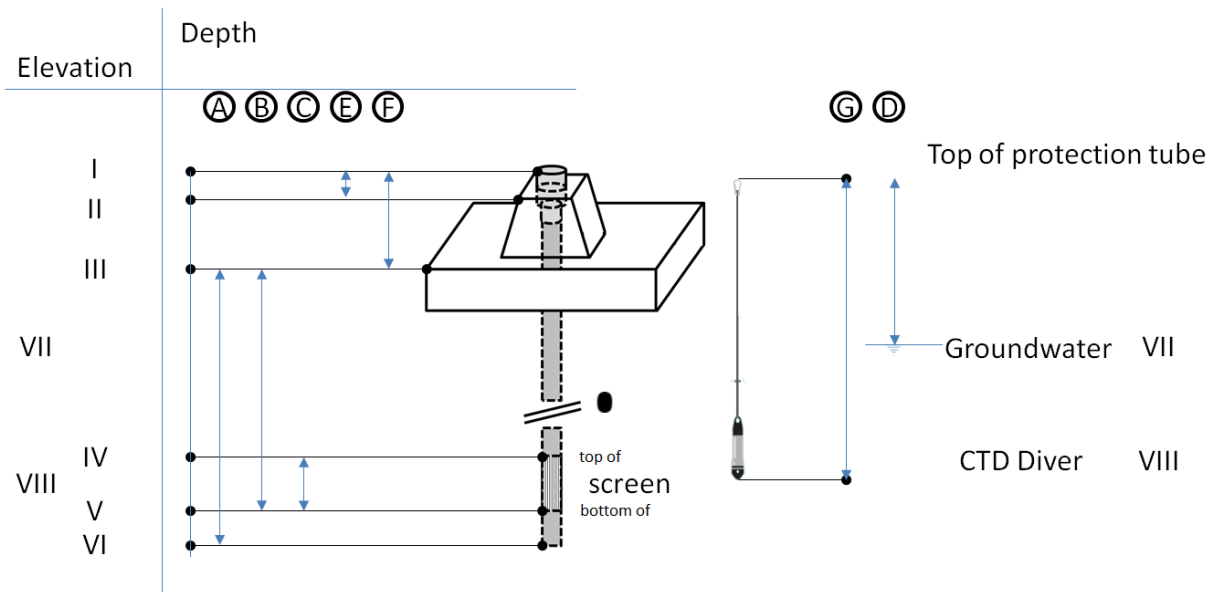
**Industrial Zone My Xuan A**



**General Construction**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete construction [m]	Length [m]
A	III – VI		23	
B	III – V		21	
C	IV – V			
D (Water Level)	I – VII	6.35		
E	I – II	0.13		
F	I – III	0.43		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 10.615
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 10.485
III	Top of concrete foundation	EL 10.185
IV	Top of screen	[III – B + C] -6.815
V	Bottom of screen	[III – B] -10.815
VI	Bottom of well	[III – A] 10.185
VII	Groundwater Level	[I – D] 4.265
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -3.835

# Drilling profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV NB2B

Mỹ Xuân - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

TOA ĐỘ X: 722572,25  
 Y: 1177793,02  
 Z: 9,57  
 Số hiệu gốc: NB2B

Ngày khởi công: 25/11/2006  
 Ngày kết thúc: 25/11/2006  
 Tỷ lệ: 1:125  
 Chiều sâu: 25,00

Thước tỷ lệ	Tuổi địa chất	Thứ tự lớp	Chiều sâu chân lớp (m)	Cột địa tầng	CẤU TRÚC LỖ KHOAN	MÔ TẢ THẠCH HỌC, TÍNH CHỨA NƯỚC
0						
1	Q <sub>1</sub> <sup>3-1</sup>	1	1,0			1. Đất đắp
2		2	2,5			2. Bột cát
3						3. Sét
4						4. Cát mịn trung
5						5. Bột sét
6		3	6,5			6. Cát mịn trung
7						7. Bột sét
8					90	
9					17,00	
10						
11		4	11,0			
12	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>					
13						
14						
15						
16						
17			5	17,0		
18					90	
19					21,00	
20						
21		6	21,0			
22					90	
23					23,00	
24						
25		7	25,0			

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

-----

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*nb2b / P0404*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 6.35 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

## Well no.

**NB 1 a** (qp2-3)

## Coordinates (W184-Gause 105)

**X: 1176451.95 Y: 723055.19**

## Location

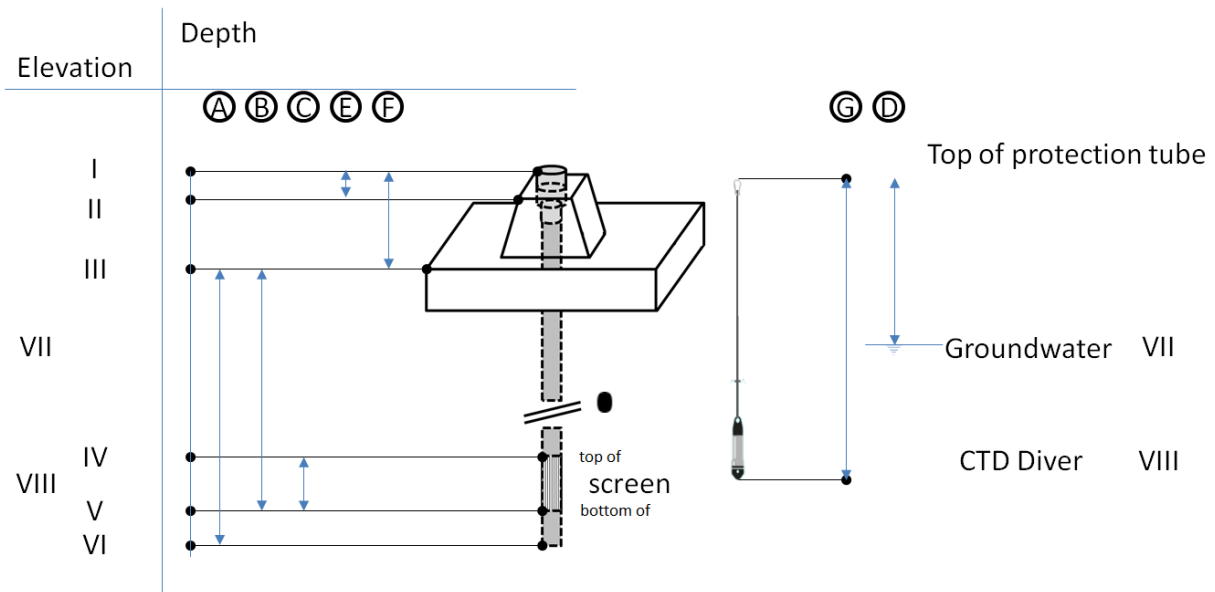
My Xuan A2 Industrial zone



## General Construction



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete construction [m]	Length [m]
A	III – VI	27.85	27.45	
B	III – V		28	
C	IV – V			4
D (Water Level)	I – VII	7.52		
E	I – II	--		
F	I – III	0.4		
G	I – VIII			20.02

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 8.222
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 8.046
III	Top of concrete foundation	EL 7.822
IV	Top of screen	[III – B + C] -16.178
V	Bottom of screen	[III – B] -20.178
VI	Bottom of well	[III – A] -20.028
VII	Groundwater Level	[I – D] 0.702
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -11.798



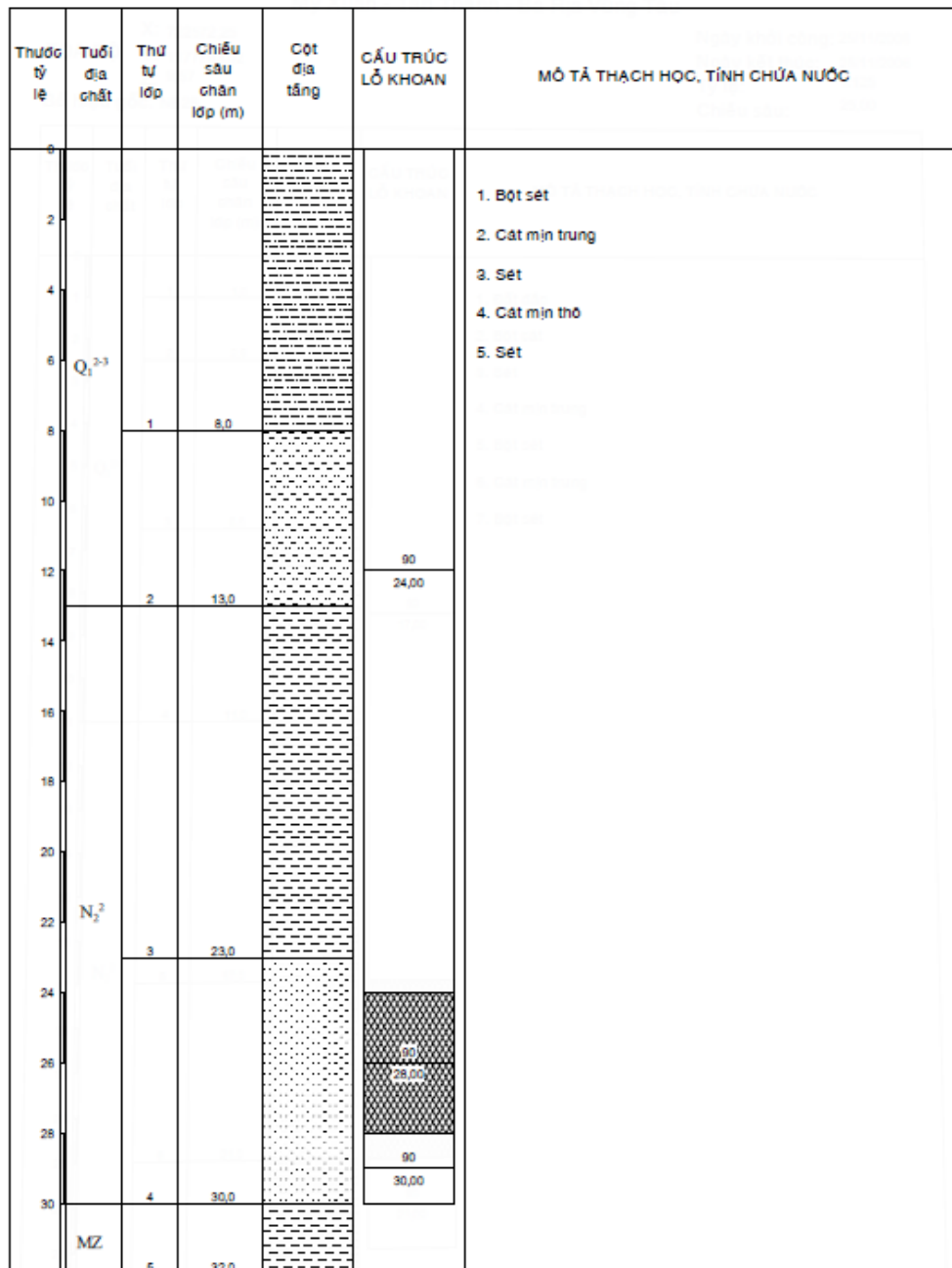
# Drilling Profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV NB1A

Mỹ Xuân - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

X: 723055,19  
 TOA ĐỘ Y: 1176451,95  
 Z: 7,33  
 Số hiệu gốc: NB1A

Ngày khởi công: 21/11/2006  
 Ngày kết thúc: 21/11/2006  
 Tỷ lệ: 1:160  
 Chiều sâu: 32,00



## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

-----

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*nb1a / P0352*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 7.52 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**NB 1 b (qp3)**

**Coordinates**

**X: 723056.58 Y: 1176452.77**

**Location**

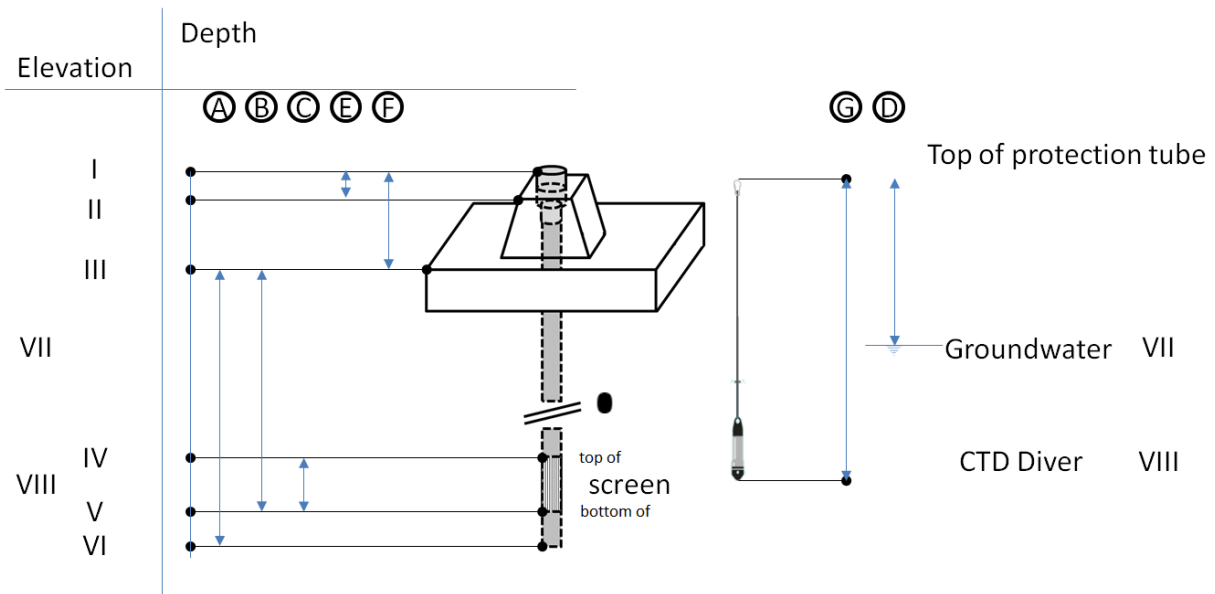
**My Xuan A2 Industrial Zone**



**General Construction**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete construction [m]	Length [m]
A	III – VI	13.38	12.96	
B	III – V		14	
C	IV – V		4	
D	(Water Level) I – VII	4.92		
E	I – II	--		
F	I – III	0.42		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 8.263
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 8.046
III	Top of concrete foundation	EL 7.843
IV	Top of screen	[III – B + C] -2.157
V	Bottom of screen	[III – B] -6.157
VI	Bottom of well	[III – A] -5.537
VII	Groundwater Level	[I – D] 3.343
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] 1.303

# Drilling profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV NB1B

Mỹ Xuân - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

X: 723056,58  
 TOA ĐỘ Y: 1176452,77  
 Z: 7,33  
 Số hiệu gốc: NB1B

Ngày khởi công: 23/11/2006  
 Ngày kết thúc: 23/11/2006  
 Tỷ lệ: 1:80  
 Chiều sâu: 16,00

Thước tỷ lệ	Tuổi địa chất	Thứ tự lớp	Chiều sâu chân lớp (m)	Cột địa tầng	CẤU TRÚC LỖ KHOAN	MÔ TẢ THẠCH HỌC, TÍNH CHỨA NƯỚC
0						
1						1. Bột sét
2						2. Cát mịn trung
3						3. Sét
4					00 8,00	
5						
6						
7	$Q_1^{2-3}$					
8		1	8,0			
9					00	
10					12,00	
11						
12						
13		2	13,0		00 14,00	
14						
15	$N_2^2$					
16		3	16,0			

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

-----

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*nb1b / P0356*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 4.92 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

## Well no.

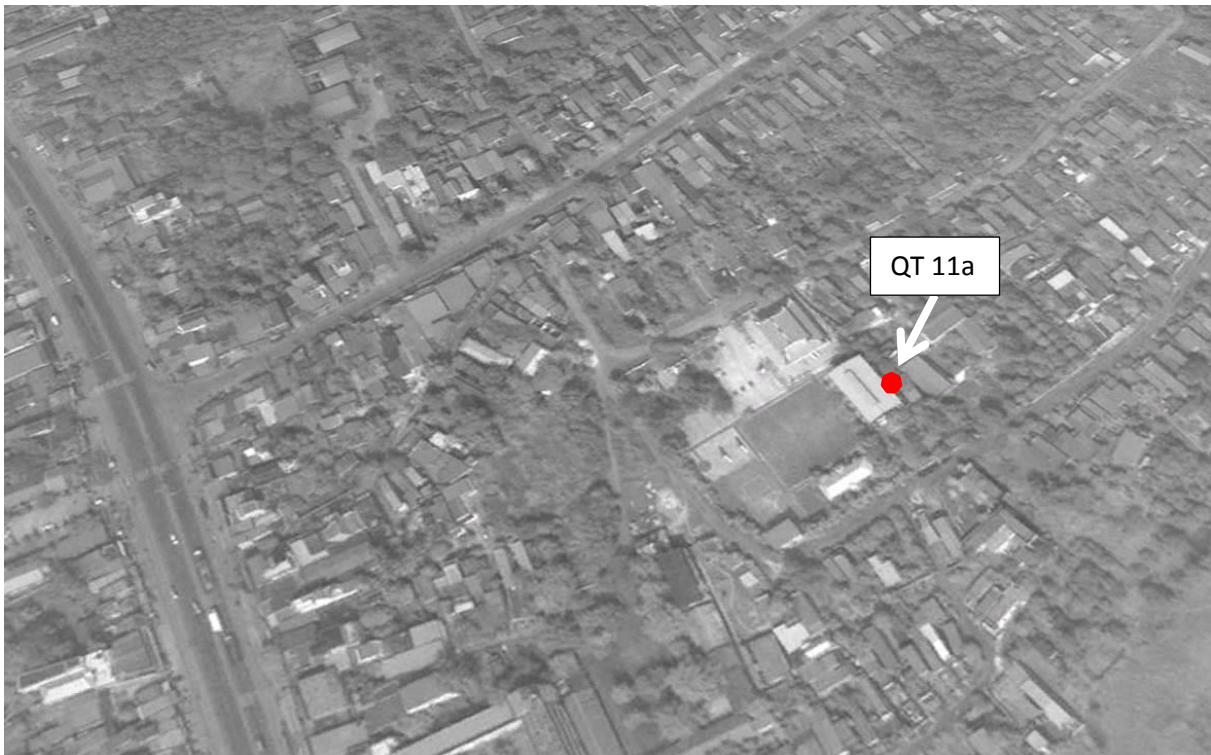
QT 11 A (qp2-3, (n2?))

## Coordinates

X: 724865.71      Y: 1175583.39

## Location

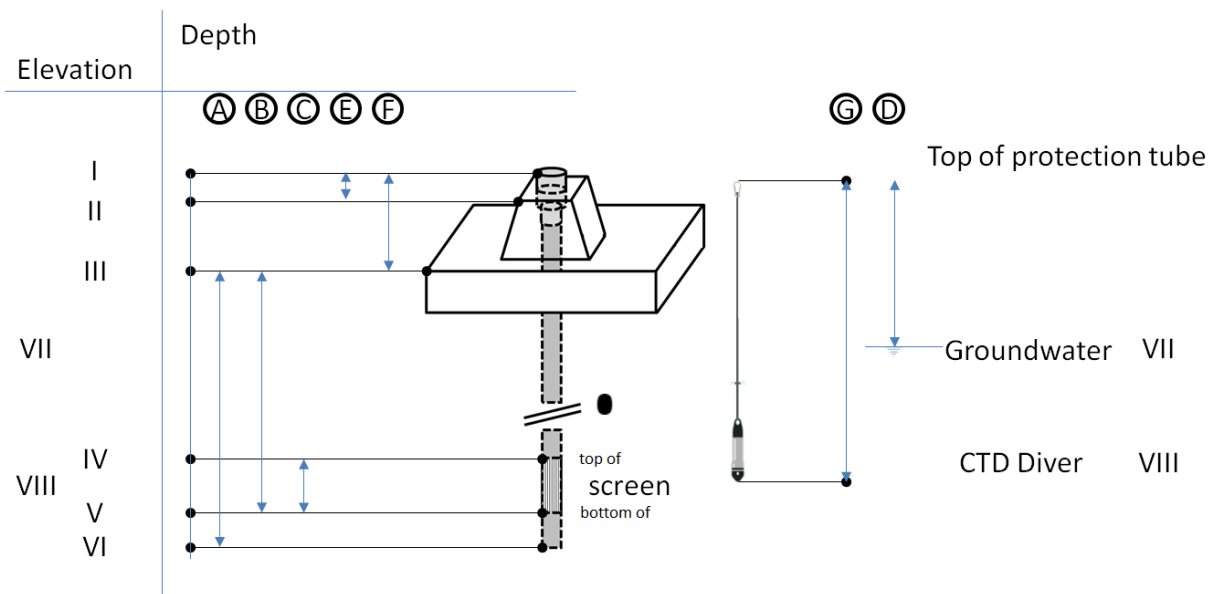
My xuan commune, Tan Thanh district



## General Construction



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	26.3	25.8	4
B	III – V		27	
C	IV – V			
D	I – VII	6.23	22.76	
E	I – II	0.32		
F	I – III	0.5		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 7.757
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 7.437
III	Top of concrete foundation	EL 7.257
IV	Top of screen	[III – B + C] -15.743
V	Bottom of screen	[III – B] -19.743
VI	Bottom of well	[III – A] -19.043
VII	Groundwater Level	[I – D] 1.527
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -15.003



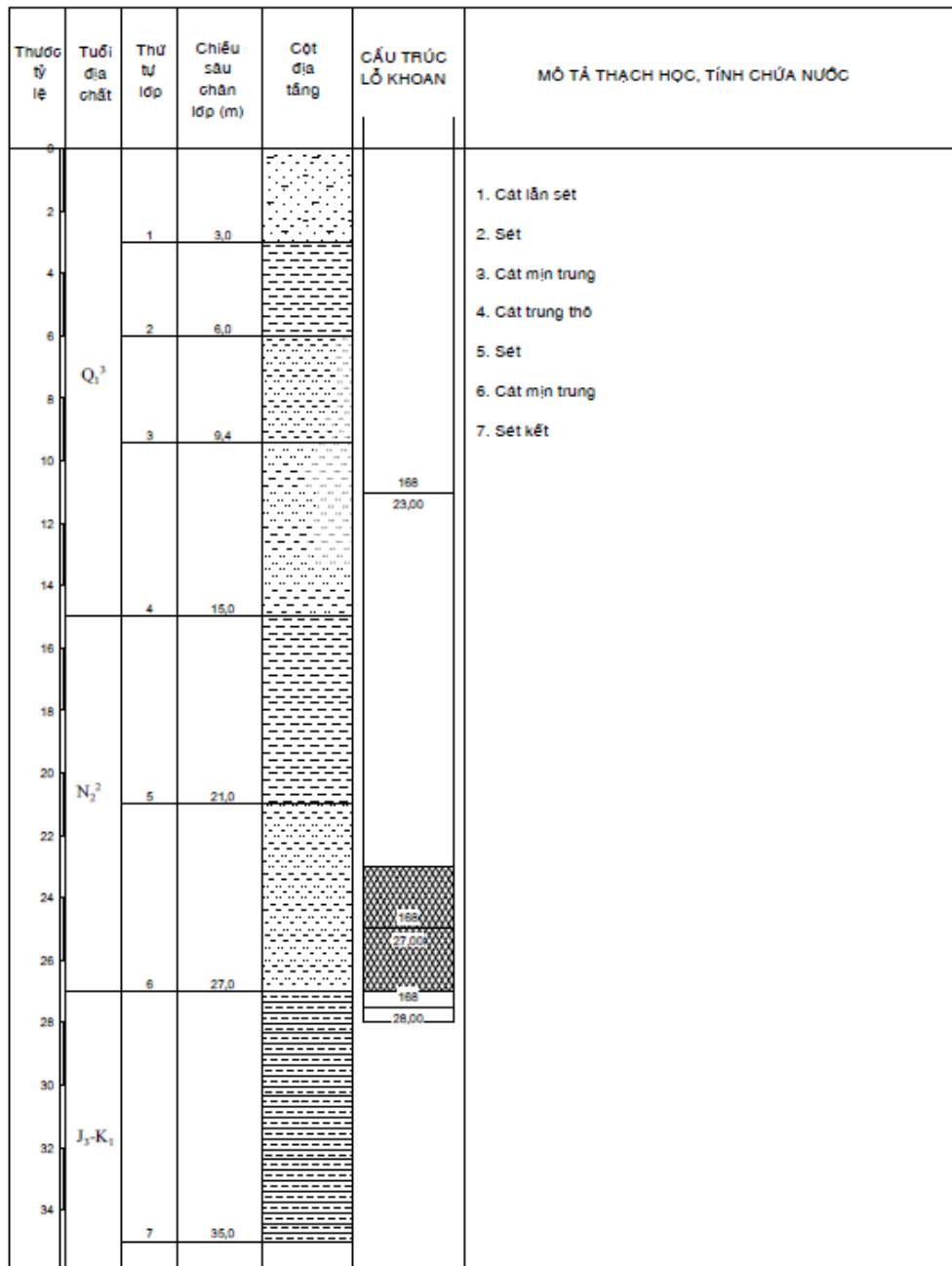
# Drilling Profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV QT11A

Mỹ Xuân - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

X: 724865,71  
 TOA ĐỘ Y: 1175583,39  
 Z: 6,92  
 Số hiệu gốc: QT11A

Ngày khởi công:  
 Ngày kết thúc:  
 Tỷ lệ: 1:180  
 Chiều sâu: 35,00



## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

-----

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Qt11a / P0366*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 6.30 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**VT 4B (qp2-3)**

**Coordinates**

**X: 1166873.00 Y: 725995.00**

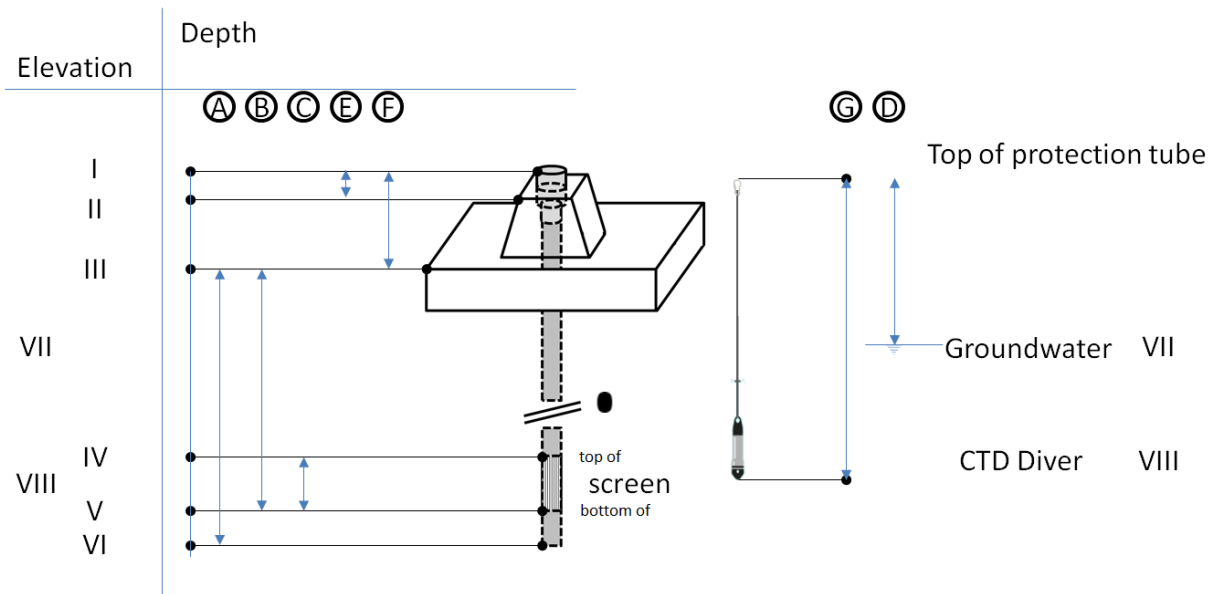
**Location** Phuoc hoa commune, Tan thanh District



**General Construction**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	13.65	13.02	
B	III – V		16	
C	IV – V			
D	I – VII	2.42		8
E	I – II	--		
F	I – III	0.45		
G	I – VIII			9.95

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 1.512
II	Top of concrete construction	[III + F – E] ...
III	Top of concrete foundation	EL 1.062
IV	Top of screen	[III – B + C] -6.938
V	Bottom of screen	[III – B] -14.938
VI	Bottom of well	[III – A] -12.588
VII	Groundwater Level	[I – D] -0.908
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -8.438

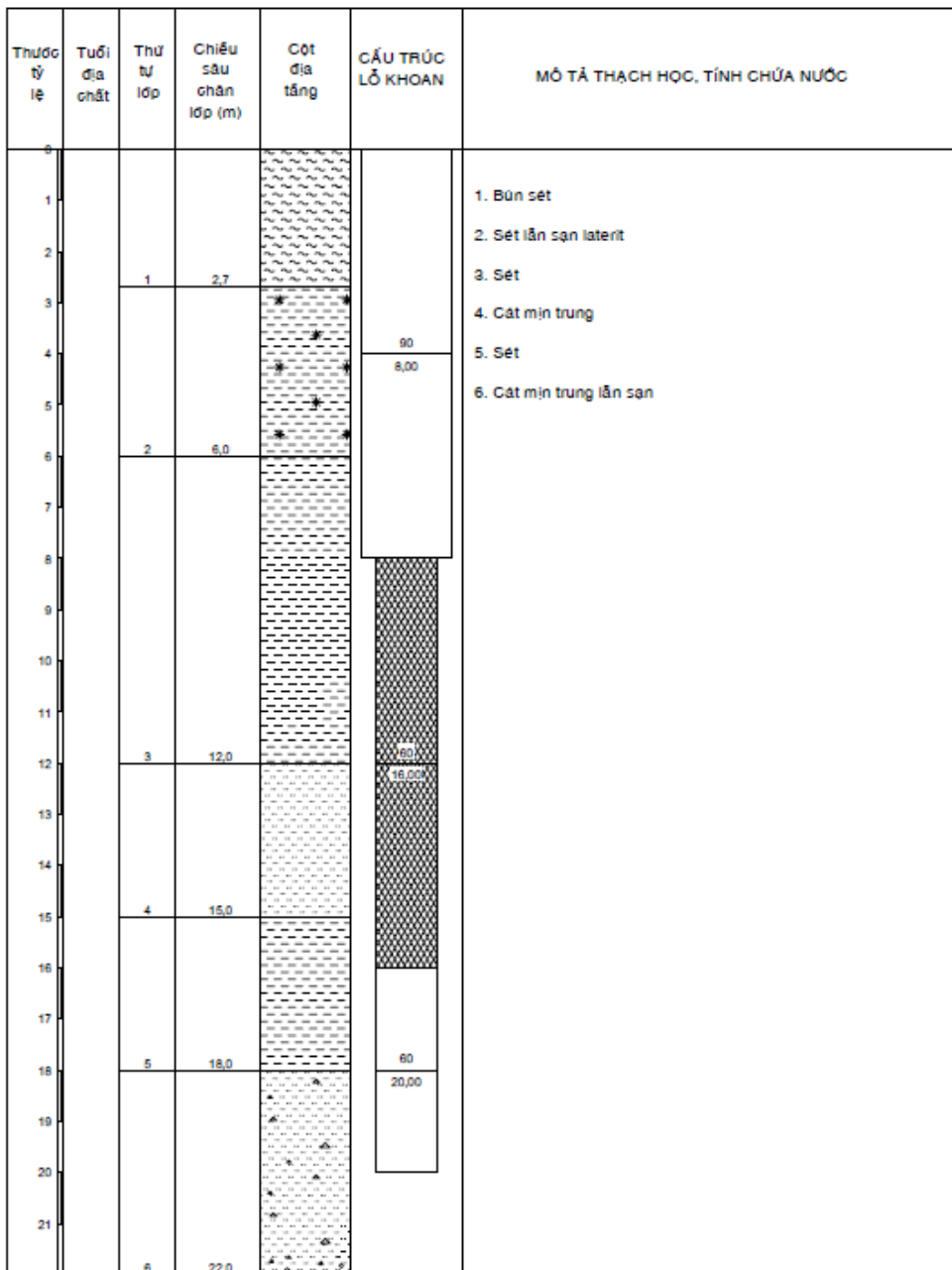
# Drilling profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV VT4B

Phước Hòa - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

TOA ĐỘ X: 725995,00  
 Y: 1166873,00  
 Z: 2,02

Ngày khởi công: 31/08/2004  
 Ngày kết thúc: 01/09/2004  
 Tỷ lệ: 1:110  
 Chiều sâu: 22,00



## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

**---**

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

***Vt4b / P0360***

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 2.25 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**VT 2 A (qp 2-3)**

**Coordinates**

**X: 1177426.00 Y: 724838.00**

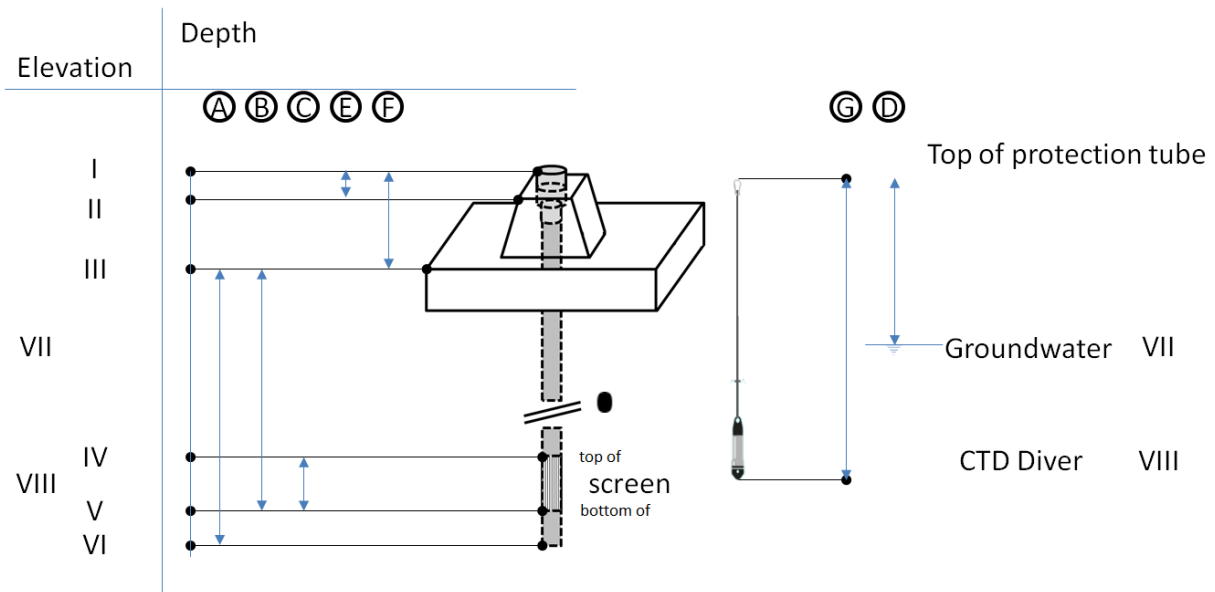
**Location**

**My Xuan Commune, Tan Thanh District**

**General Construction**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	20.85	20.3	
B	III – V		28	
C	IV – V			
D	I – VII	10.48		6
E	I – II	--		
F	I – III	0.55		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 33.227
II	Top of concrete construction	[III + F – E] ---
III	Top of concrete foundation	EL 32.677
IV	Top of screen	[III – B + C] 10.677
V	Bottom of screen	[III – B] 4.677
VI	Bottom of well	[III – A] 11.827
VII	Groundwater Level	[I – D] 22.747
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] 17.867



# Drilling profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV VT2A

Hắc Dịch - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

TOA ĐỘ X: 728438,00  
Y: 1177426,00  
Z: 32,72

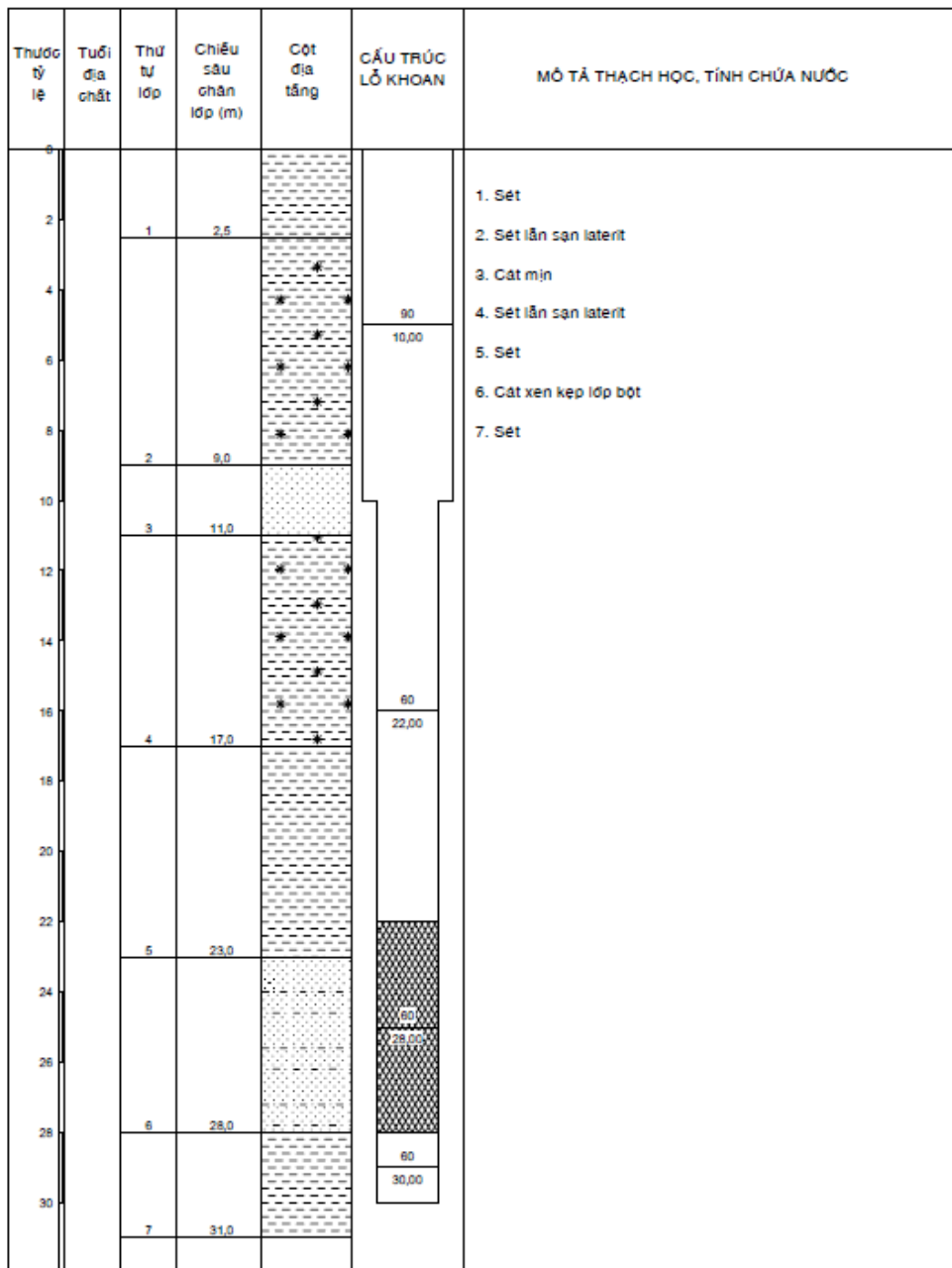
Ngày khởi công: 01/09/2004

Ngày kết thúc: 02/09/2004

Tỷ lệ: 1:160

Chiều sâu: 31,00

Số hiệu gốc:



## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

-----

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Vt2a / P0363*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 11.10 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

Well no.

NB 3 B (qp3)

Coordinates

X: 1172109.08 Y: 723026.52

Location

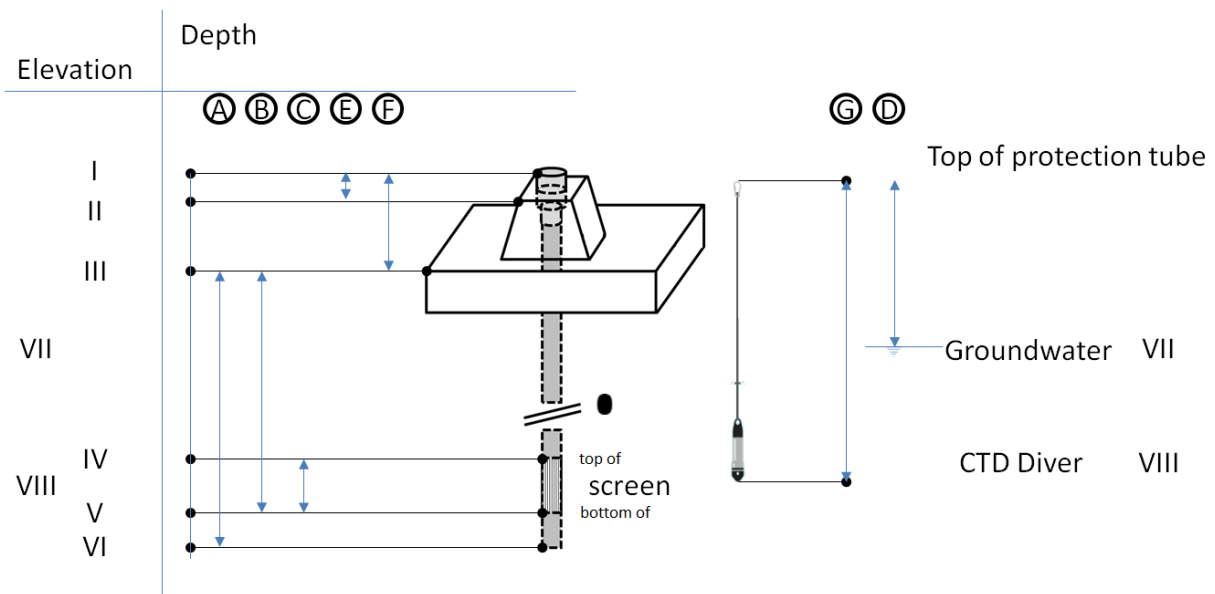
Phu My I Industrial Zone, Tan Thanh district, Vietnam



General Construction



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	22.84	22.44	
B	III – V		18	
C	IV – V		4	
D	I – VII	6.55		
E	I – II	--		
F	I – III	0.4		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 6.998
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 6.838
III	Top of concrete foundation	EL 6.598
IV	Top of screen	[III – B + C] -7.402
V	Bottom of screen	[III – B] -11.402
VI	Bottom of well	[III – A] -16.242
VII	Groundwater Level	[I – D] 0.448
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -5.902
























# Drilling profile

## PHIẾU LỖ KHOAN ĐCTV NB3B

Phú Mỹ - Tân Thành - Bà Rịa Vũng Tàu

TOA ĐỘ X: 723026,52  
 Y: 1172109,08  
 Z: 6,19  
 Số hiệu gốc: NB3B

Ngày khởi công: 20/11/2006  
 Ngày kết thúc: 20/11/2006  
 Tỷ lệ: 1:115  
 Chiều sâu: 23,00

Thước tỷ lệ	Tuổi địa chất	Thứ tư lớp	Chiều sâu chân lớp (m)	Cột địa tầng	CẤU TRÚC LỖ KHOAN	MÔ TẢ THẠCH HỌC, TÍNH CHỨA NƯỚC
0						
1						1. Đất đắp
2		1	2,3			2. Bùn sét
3						3. Cát mịn trung
4						
5						
6						
7					90	
8					14,00	
9						
10						
11		2	11,0			
12	Q <sub>1</sub> <sup>2-3</sup>					
13						
14						
15						
16					121	
17					18,00	
18						
19						
20					90	
21					22,00	
22						
23		3	23,0			

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

*baro\_vt003 / n3969*

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Nb3b / M6457*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 6.58 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**



**Well no.**

**VT 6(qp3)**

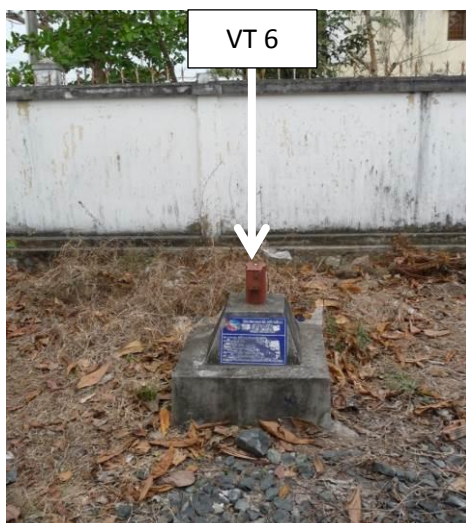
**Coordinates**

**X: 1163616.12 Y: 728223.78**

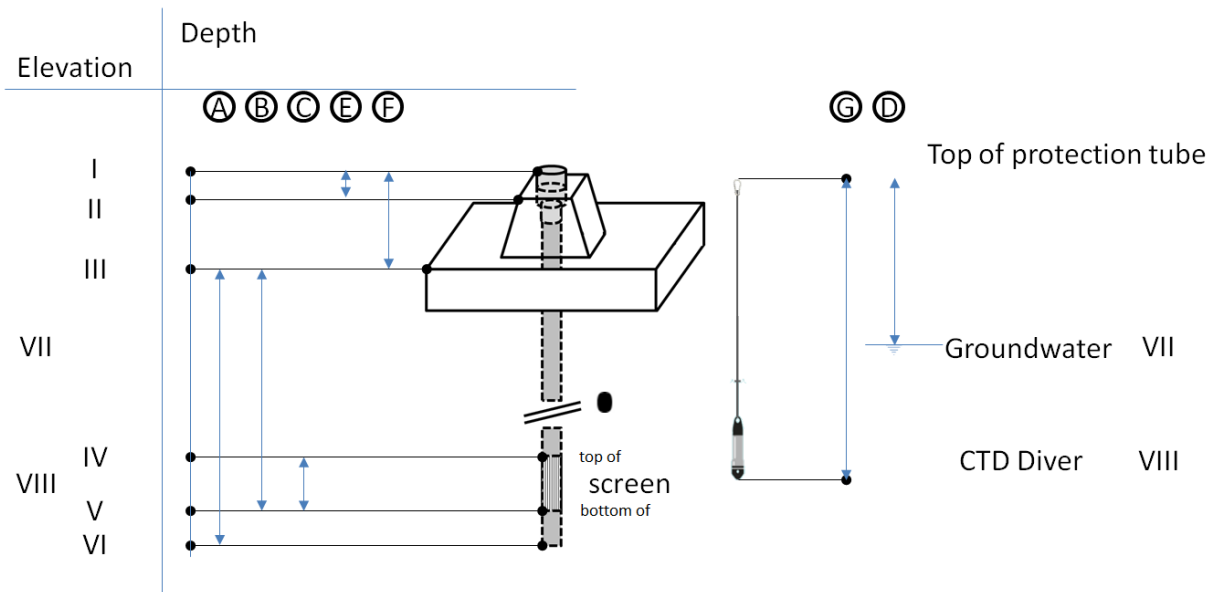
**Location** Peoples Committee Tan Hoa, Tan Thanh District



**General Construction**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	14.06	13.61	
B	III – V		13	
C	IV – V			
D	I – VII	3.68		8
E	I – II	--		
F	I – III	0.45		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 4.956
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 4.736
III	Top of concrete foundation	EL 4.506
IV	Top of screen	[III – B + C] -0.494
V	Bottom of screen	[III – B] -8.494
VI	Bottom of well	[III – A] -9.554
VII	Groundwater Level	[I – D] 1.276
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -5.234



## **Drilling profile**

No Drilling Profile

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

---

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Vt6 / P0379*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 3.78 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

## Well no.

QT 7 (qp2-3 (n2?))

## Coordinates

X : 1170556.15 Y: 723871.52

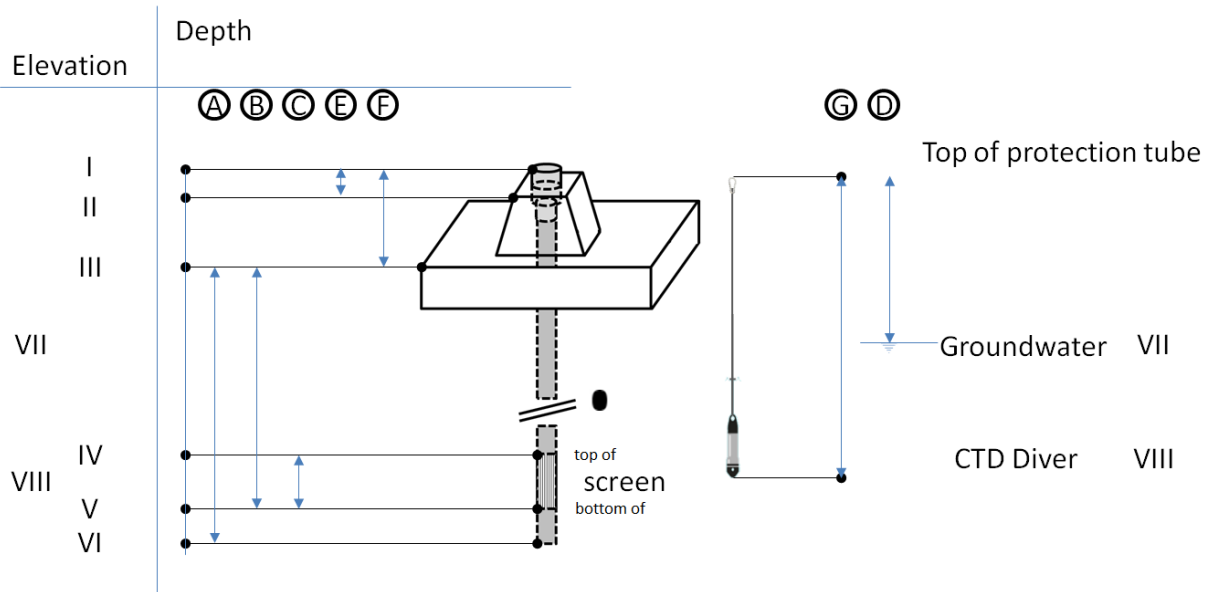
## Location

Phuoc Hoa commune, Tanthanh District

## General Construction



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	????	36.60	
B	III – V		50???	
C	IV – V			8
D	I – VII	3.18		
E	I – II	--		
F	I – III	???		
G	I – VIII			28.18

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 1.746
II	Top of concrete construction	[III + F – E] ...
III	Top of concrete foundation	EL
IV	Top of screen	[III – B + C]
V	Bottom of screen	[III – B]
VI	Bottom of well	[III – A]
VII	Groundwater Level	[I – D] -1.433
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -26.433

## **Drilling profile**

No Drilling Profile

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

---

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Qt7a / P0364*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 3.18 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**VT 7a (qp3)**

**Coordinates**

**Y: 1146609.17 X: 728373.56**

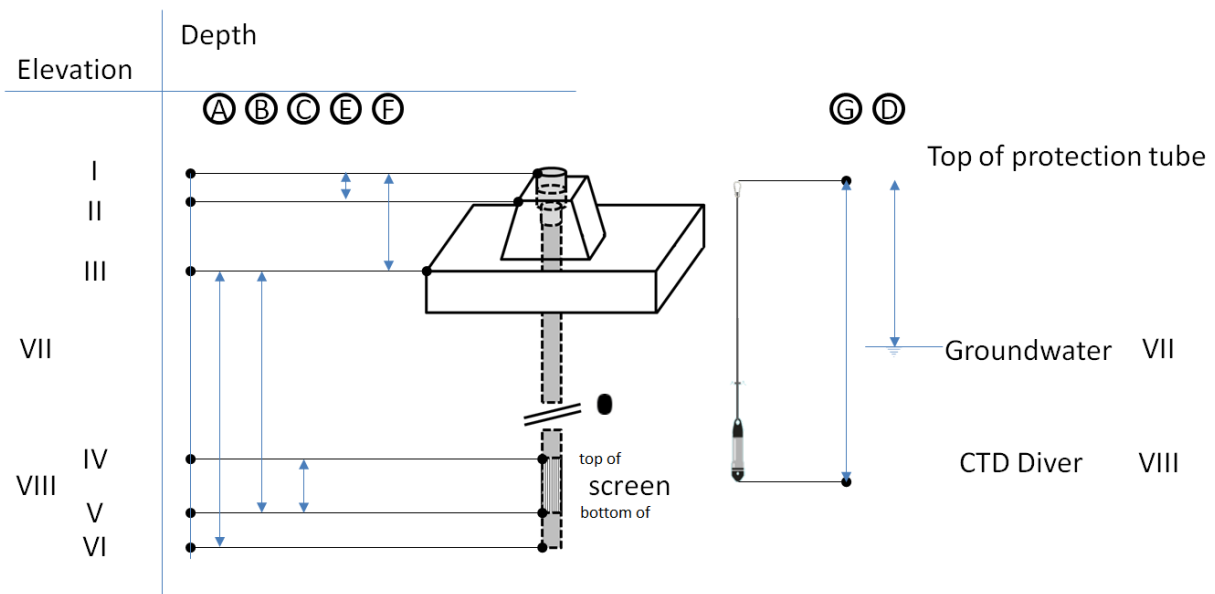
**Location**

278 Nguyen An Ninh, P7, Vung Tau City

**General Construction**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	33.65	33.2	
B	III – V		32	
C	IV – V		4	
D	I – VII	4.14		
E	I – II	--		
F	I – III	0.45		
G	I – VIII			31.4

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F] 4.483
II	Top of concrete construction	[III + F – E] 4.29
III	Top of concrete foundation	EL 4.033
IV	Top of screen	[III – B + C] -23.967
V	Bottom of screen	[III – B] -27.967
VI	Bottom of well	[III – A] -29.617
VII	Groundwater Level	[I – D] 0.343
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G] -26.917

## **Drilling profile**

No Drilling Profile

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

---

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Vt7a / P0365*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 4.19 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**VT 7b (qp3)**

**Coordinates**

**X: 1146927.30 Y: 728380.56**

**Location**

278 Nguyen An Ninh, P7, Vung Tau City

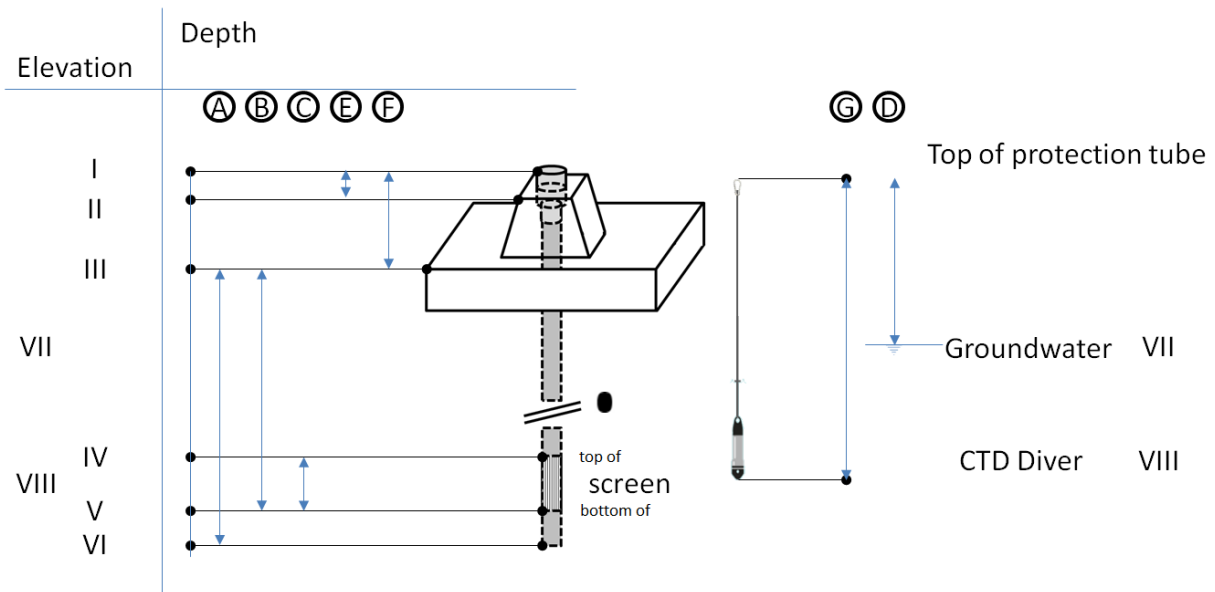
**General Construction**



**ATTENTION: The information badge says for this location: well no 9b. THIS IS WRONG, according to statements of DONRE Vung Tau.**



## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI	7.65	7.2	
B	III – V		6	
C	IV – V			
D	I – VII	2.13		4
E	I – II	0.15		
F	I – III	0.45		
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt)	[III + F]
II	Top of concrete construction	[III + F – E]
III	Top of concrete foundation	EL
IV	Top of screen	[III – B + C]
V	Bottom of screen	[III – B]
VI	Bottom of well	[III – A]
VII	Groundwater Level	[I – D]
VIII	Bottom of CTD Diver	[I – G]

## **Drilling profile**

No Drilling Profile

## **Observation parameter**

**Groundwater level in meter from top of pt**

**Specific Conductivity**

**Temperature**

## **Observation equipment**

**Schlumberger baro\_diver (see annex 1)**

---

**Schlumberger CTD\_diver (see annex 2)**

*Vt7b / M6458*

## **Actual data**

**12<sup>th</sup> of April 2013**

**Groundwater level : 2.14 m below top of protection tube**

**Temperature:**

**Salinity:**

## **Measurement frequency**

**30 minutes**

## **Responsible**

**LWI, IER**

## **Results**

**Well no.**

**DN 9A**

**Coordinates**

**X: 1145800.00**

**Y: 729313.00**

**Location**

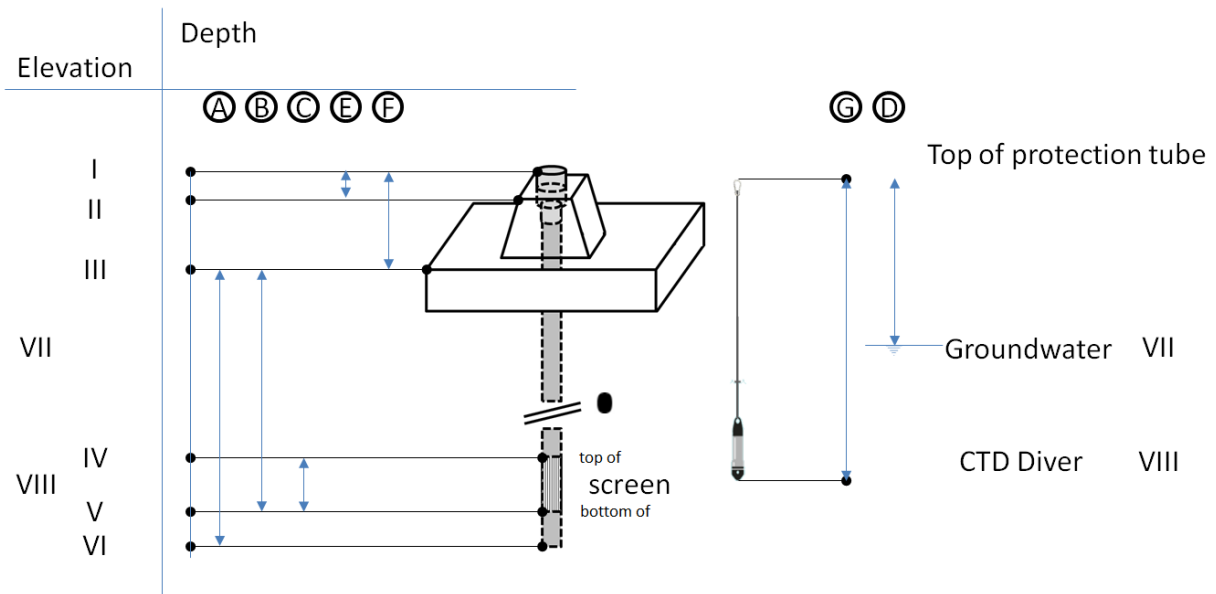
**General Construction**

**Truong Tieu Hoc Truong Cong Dinh**



**NOT USED FOR Groundwater Model**

## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI			
B	III – V			
C	IV – V			
D (Water Level)	I – VII			
E	I – II			
F	I – III			
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt) [III + F]	5.312
II	Top of concrete construction [III + F – E]	4.963

**Well no.**

**DN 9B**

**Coordinates**

**X: 1145800.00**

**Y: 729313.00**

**Location**

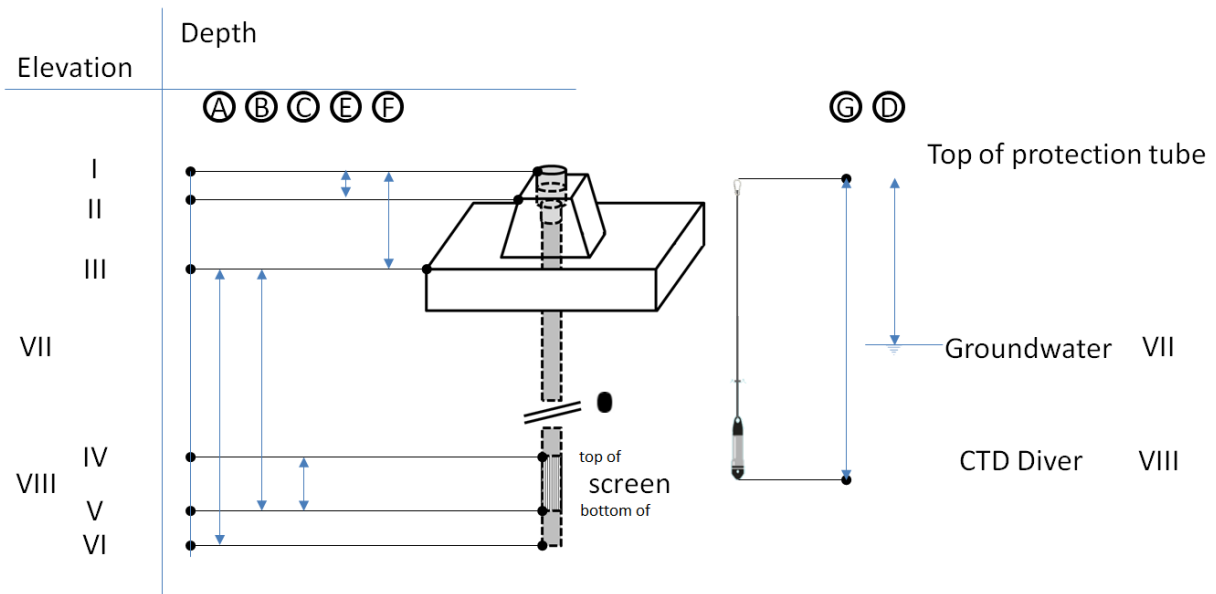
**General Construction**

**Truong Tieu Hoc Truong Cong Dinh**



**NOT USED FOR Groundwater Model**

## Metrics-sketch



Subject		Depth below top of protection tube [m]	Depth below top of concrete foundation [m]	Length [m]
A	III – VI			
B	III – V			
C	IV – V			
D (Water Level)	I – VII			
E	I – II			
F	I – III			
G	I – VIII			

Subject		Elevation [m.a.s.l.]
I	Top of protection tube (pt) [III + F]	5.120
II	Top of concrete construction [III + F – E]	4.958