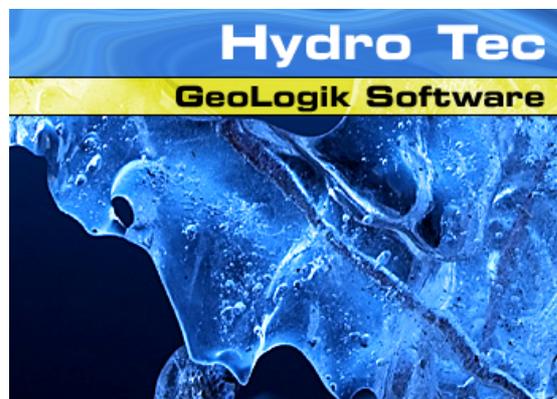


GeoLogik Software's

Hydro Tec 8.1

Benutzerhandbuch



Das Programm zur
Auswertung von Pumpversuchen

Lizenzvereinbarung

Urheberrecht

GeoLogik Software Inh. Thomas Röhrich

Warenzeichen

Im Handbuch genannte Firmen- und Produktnamen sind Warenzeichen der jeweiligen Firmen. Windows ist eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.

Nutzungsrecht

Dieses Handbuch und die mitgelieferte Software sind urheberrechtlich geschützt. Handbuch und Software dürfen ausschließlich für eigene Zwecke genutzt werden. Die Software darf ausschließlich zur einmaligen Installation und zum Zwecke der Datensicherung kopiert werden. Jede Lizenz der Software darf ausschließlich auf einem Computerarbeitsplatz gleichzeitig genutzt werden. Die Software darf weder geändert, abgepaßt übersetzt oder vermietet werden.

Die Software darf nicht dekomprimiert oder disassembliert werden. Werkzeuge, die auf die Software zugreifen, dürfen ausschließlich die durch die Software zur Verfügung gestellten Schnittstellen verwenden. Es dürfen keine, auf die Software basierenden Werkzeuge erstellt werden.

Beschränkte Gewährleistung

Die GeoLogik Software garantiert (I) für einen Zeitraum von 90 Tagen ab Empfangsdatum, daß die Software im wesentlichen gemäß der mitgelieferten Dokumentation arbeitet, und (II) für einen Zeitraum von 6 Monaten ab Empfangsdatum, das die von GeoLogik Software gelieferte Hardware, bei normaler Benutzung frei von Material- oder Verarbeitungsfehlern ist. Die Garantie ist bezüglich der Software auf 90 Tage und bezüglich der Hardware auf ein (1) Jahr beschränkt.

Diese Garantie wird von der GeoLogik Software als Hersteller der Software übernommen; etwaige gesetzliche Gewährleistungs- oder Haftungsansprüche gegen den Händler, von dem Sie Ihr Exemplar der Software bezogen haben, werden hierdurch weder ersetzt noch beschränkt.

Ansprüche des Kunden

Die gesamte Haftung von GeoLogik Software und Ihr alleiniger Anspruch bestehen nach Wahl von der GeoLogik Software entweder (I) in der Rückerstattung des bezahlten Preises oder (II) in der Reparatur oder dem Ersatz der Software oder der Hardware, die der beschränkten Gewährleistung der GeoLogik Software nicht genügt und zusammen mit einer Kopie des bezahlten Kaufnachweises an die GeoLogik Software zurückgegeben wird. Diese beschränkte Gewährleistung gilt nicht, wenn der Ausfall der Software oder der Hardware auf Unfall, auf Mißbrauch oder auf fehlerhafte Anwendung zurückzuführen ist.

Keine weitere Gewährleistung

Die GeoLogik Software schließt für sich jede weitere Gewährleistung bezüglich der Software, der zugehörigen Dokumentation und der Hardware aus.

Keine Haftung für Folgeschäden

Weder GeoLogik Software noch die Lieferanten der GeoLogik Software sind für irgendwelche Schäden (uneingeschränkt eingeschlossen sind Schäden aus entgangenem Gewinn, Betriebsunterbrechung, Verlust von geschäftlichen Informationen oder von Daten oder aus anderem finanziellem Verlust) ersatzpflichtig, die aufgrund der Benutzung dieses Produkts oder der Unfähigkeit, dieses Produkt zu verwenden, entstehen, selbst wenn die GeoLogik Software von der Möglichkeit eines solchen unterrichtet worden ist. Aus jeden Fall ist die Haftung der GeoLogik Software auf den Betrag beschränkt, den Sie tatsächlich für das Produkt bezahlt haben.

Dieser Ausschluß gilt nicht für Schäden, die durch Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit auf Seiten der GeoLogik Software verursacht wurden. Ebenfalls bleiben Ansprüche, die auf unabdingbare gesetzlichen Vorschriften zur Produkthaftung beruhen, unberührt.

Änderungen

Änderungen, die dem technischen Fortschritt dienen und Irrtum sind vorbehalten.

Entwickler und Hersteller

GeoLogik Software Inh. Thomas Röhrich

Ferbornstraße 19a

35619 Braunfels

Deutschland

Tel. 0 64 42/ 96 21 73

E-mail: info@geologik.com

Internet: www.geologik.com

Danke an

Alle Beta-Tester

Stand Januar 2020

Inhaltsverzeichnis

Teil I Erste Schritte	6
1 Installation	7
2 Programmänderungen	8
Neues in der Version 8.1	8
Neues in der Version 8.0	8
Neues in der Version 7.6	8
Neues in der Version 7.5	10
Neues in der Version 7.0	11
Neues in der Version 6.2	13
3 Programmüberblick	16
4 Grundeinstellungen	23
Ausdruck	23
Programmumgebung	24
Konstanten	26
Darstellung	28
Felder	29
Surfer Script	30
Tile Server	31
Teil II Dateneingabe	33
1 Brunnendaten eingeben	34
Koordinatensystem/Höhenbezugssystem	36
Brunnendaten importieren	37
2 Förderrate eingeben	37
3 Messwerte eingeben	39
Messwerte importieren	40
Logger-Datei importieren	41
Dropzone verwenden	43
Teil III Datenaufbereitung	44
1 Anzahl der Messwerte reduzieren	45
2 Trendbereinigung	46
3 Luftdruckkorrektur	47
4 Weitere Datenkorrekturen	50
Teil IV Auswertung	52
1 Diagnosegraph	53
Ableitung glätten	54
2 Auswertgraph	56
Arbeitsweise	56
Modellannahmen festlegen	57
Parameter einstellen	57
Dimensionslose Darstellung	58
Gespannter Aquifer - Theis.....	59
Leaky Aquifer - Hantush.....	59
Gespannter Aquifer mit Brunnenspeicherung - Papadopulos.....	59
Double Porosity Modell nach Warren & Root.....	60
Ungespannter Aquifer mit Jacob-Korrektur.....	60

Ungespannter Aquifer nach Boulton und Neuman.....	60
Multi-Aquifersystem.....	61
Horizontalbrunnen.....	61
Slug-Test - Cooper, Bredhoeft & Papadopulos.....	63
Typkurven hinzufügen	63

Teil V Theoretische Grundlagen 65

1 Theis	66
Superpositionsprinzip	66
Vertikale Anisotropie und unvollkommene Brunnen	68
2 Auswertung des Wiederanstiegs	70
3 Ungespannter und leaky Aquifer	71
4 Multi-Aquifersystem	73
5 Kluftaquifer	74
Doppelporositätsmodell	74
Kluftaquifer mit Skin-Effekt	75
6 Auswertungen im Pumpbrunnen	76
Brunnenspeicherung	76
Skin-Effekte	77
Brunnenverluste	79
Brunnenwirkungsgrad	80
7 Horizontalbrunnen	81
8 Geradlinienverfahren	82
Cooper & Jacob	82
Wiederanstieg nach Theis und Jacob	83
9 Slug-Test	83
Cooper, Bredehoeft & Papadopulos	83
Hvorslev	84
Bouwer & Rice	85
Dagan	85
Butler	86
Wirksamen Radius bestimmen	87
10 WD-Test	90
Auswertung	90
Interpretation	91

Teil VI Arbeiten mit Hydro Tec 92

1 Darstellung einer Ganglinie	93
2 Auswertung im gespannten Aquifer	97
3 Auswertung im leaky-Aquifer	105
4 Auswertung unter Berücksichtigung unvollkommener Brunnen	107
5 Pumpversuch mit mehreren Pumpbrunnen	109
Regionale Strömung und Stromlinien	115
6 Auswertung im Freien Aquifer	117
7 Auswertung 2-Aquifer-System	120
8 Auswertung Multi-Aquifersystem	122
9 Auswertung im Horizontalbrunnen	125
10 Kluftaquifer	128
Auswertung mit Skin-Effekt	133
11 Spezifische Ergiebigkeit ermitteln	135
12 Brunnenverluste errechnen	137

Stationärer Zustand	137
Instationärer Zustand	138
13 Diagramm des Brunnenwirkungsgrads erstellen	142
14 Ableitung glätten	143
15 Prognosefunktion - Vorhersage	144
16 Slug-Test auswerten	146
Butler High-K	148
17 WD-Test auswerten	150
18 Lageplan mit Kartenmaterial aus dem Internet	152
Koordinaten von Brunnen anhand eines Fotos festlegen	157
19 Diagramm und Ausdruck optimieren	157
20 Typische Probleme	161
Teil VII Literatur	163
 Index	166

Teil



1 Erste Schritte

1.1 Installation

Laden Sie das Installationsprogramm von unserer Website und führen Sie es aus.

Die Datei ist digital signiert um sie vor Veränderungen zu schützen. Insbesondere wenn Sie die Datei aus dem Internet geladen haben sollten Sie die Signatur überprüfen um sicherzustellen, dass es sich um die Originalsoftware handelt. Dazu die Datei im Explorer mit der rechten Maustaste anklicken, den Dialog **Eigenschaften** aufrufen und auf der Registerseite **Digitale Signaturen** das Zertifikat anzeigen.

Das Installationsprogramm führt Sie in mehreren Schritten durch die Installation. Sie können z.B. das Zielverzeichnis festlegen und wählen, ob Beispieldateien mit installiert werden sollen.

Sie benötigen Administratorrechte zur Installation und zur Registrierung.

Systemvoraussetzungen

100 MB Festplattenplatz (minimal)

Maus oder ähnliches Zeigegerät

Windows 10 als 64-Bit Version

Registrieren

Sie müssen Sie Hydro Tec als Administrator starten um die Freischaltung durchzuführen. Klicken Sie dazu das Hydro Tec Programmicon mit der rechten Maustaste an und wählen **Als Administrator ausführen**.

Um das Programm als Vollversion Freizuhalten wählen Sie **Info** aus dem Menü **Hilfe** und klicken danach auf **Registrieren**.



Geben Sie den **Firmennamen** und die **Lizenznummer** (ohne Bindestriche) unter Beachtung der Groß-/Kleinschreibung ein und schließen die beiden Fenster mit **OK**. Das Info-Fenster schließen Sie in dem Sie darauf klicken. Hydro Tec muss nun neu gestartet werden, um als Vollversion zu laufen.

Standard oder Professional?

Je nach Lizenznummer läuft das Programm als Standard oder Professional-Version. Die wesentlichen zusätzlichen Leistungsmerkmale der Professional-Version sind:

Auswertung von Slug-Tests

Kluftaquifer-Modell

Auswertung im Pumpbrunnen unter Berücksichtigung von
Brunneneffekten (Brunnenspeicherung)

Auswertung im Horizontalbrunnen

Auswertung von WD-/Lugeon-Tests

Darstellung der Absenkung mit Isolinien und Farbverlauf im Kartenbild

Diese Dokumentation beschreibt beide Versionen. Sollten gewisse Funktionen bei Ihnen nicht zur Verfügung stehen, liegt dies vermutlich daran, dass Sie mit der Standard-Version arbeiten.

1.2 Programmänderungen

1.2.1 Neues in der Version 8.1

Download von Kartenmaterial

Bei Verwendung von UTM-Koordinaten kann nun sehr einfach Kartenmaterial von Tile-Servern geladen werden.

Lagekoordinaten der Brunnen aus Bildern

Beim Fotografieren mit einem Smartphone werden die aufgenommenen Bilder - sofern eingestellt - mit Lagekoordinaten (z.B. aus GPS) versehen. Durch Drag & Drop eines Bildes auf einen Brunnen in der Brunnentabelle werden diese Koordinaten übernommen.

Neue Eingabepanels

Die Eingabepanels wurden grundlegend überarbeitet.

Extrapolieren von Förderrate-Wasserspiegel-Werten

Bei instationären Stufenpumpversuchen können nun die zur Extrapolation verwendeten Werte (Zeitintervall, Anzahl der Messwerte) für jede Pumpstufe separat eingestellt werden.

1.2.2 Neues in der Version 8.0

Pumpversuch (Vorhersage)

Es kann nun sehr einfach eine Vorhersage für einen Pumpversuch erstellt werden

64-Bit

Hydro Tec ist nun ausschließlich als 64-Bit-Version verfügbar.

High-DPI

Die Benutzeroberfläche wurde zur Unterstützung hochauflösender Bildschirm angepasst.

1.2.3 Neues in der Version 7.6

Variable Förderrate: Angabe zur Interpretation

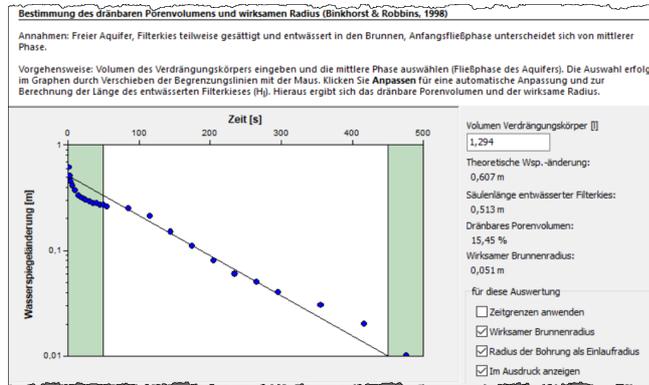
Bei der Eingabe der Förderrate kann nun vorab festgelegt werden, ob die Auswertung mit variabler oder gemittelter Förderrate erfolgen soll.

The screenshot shows the 'Förderrate' (Flow Rate) settings panel in the Hydro Tec software. The panel includes a table for 'Zeit-Förderrate' (Time-Flow Rate) and a graph. A red 'X' is placed over the 'Stufenpumpversuch' (Step Pump Test) radio button, indicating a change in the default setting.

Zeit [min]	Förderrate [m³]
1 30	500
2 80	700
3 130	600

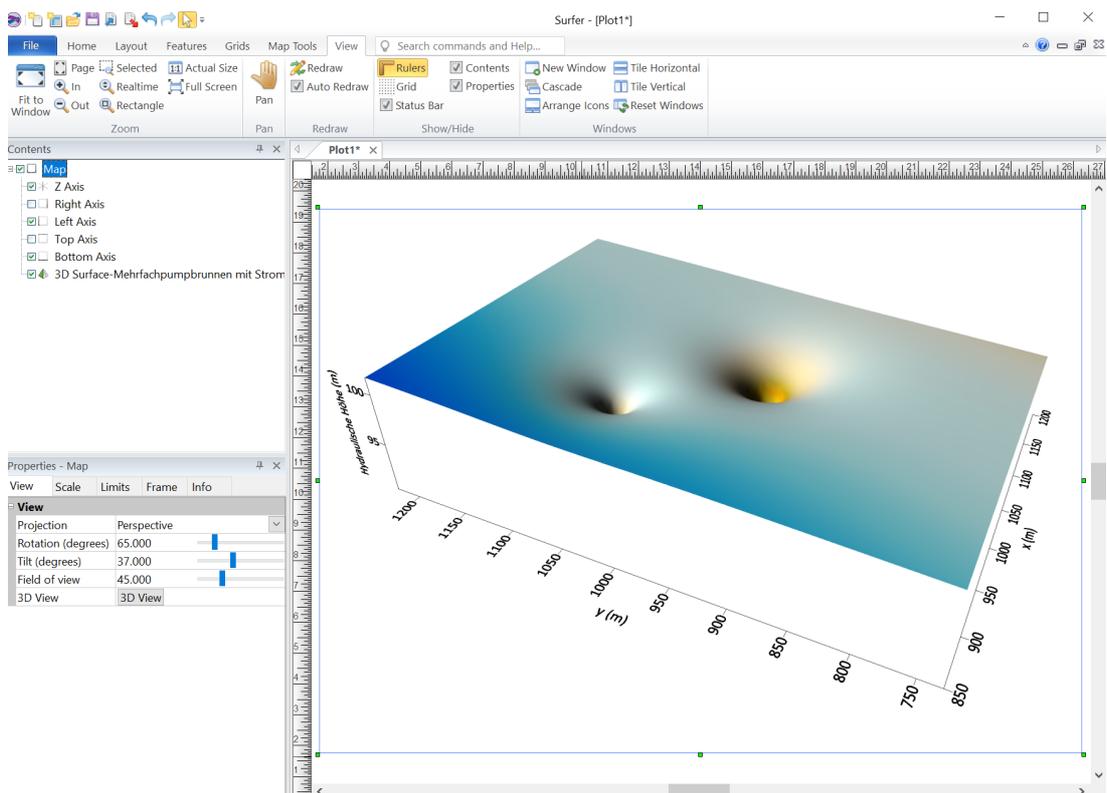
Slug-Test, Bestimmung des dränbaren Porenvolumens im Ringraum und wirksamen Radius

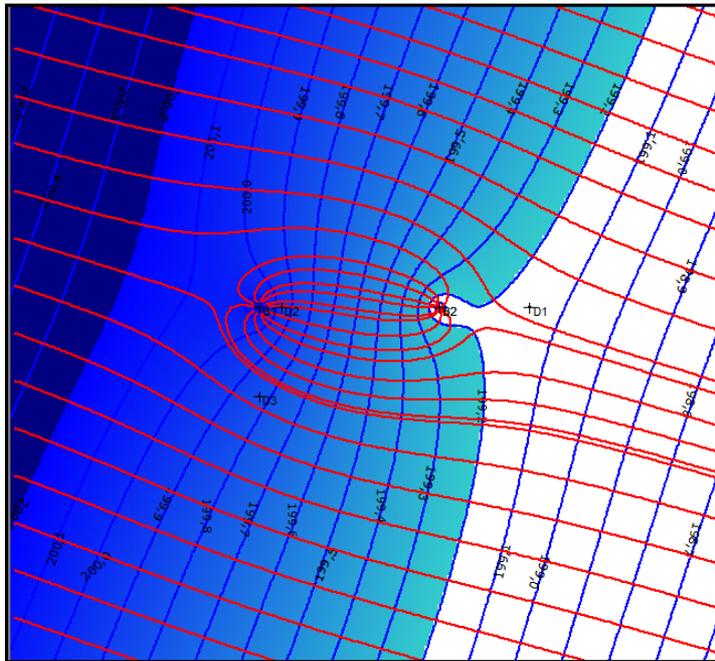
Beim Bail-Test im Freien Aquifer stammt in der Anfangsphase ein Großteil des Wassers aus dem Ringraum (Filterkies) der Messstelle. Binkhorst & Robbins stellen ein Verfahren vor das diesen Effekt zur Bestimmung des dränbaren Porenvolumens nutzt. Somit kann auch der wirksame Brunnenradius berechnet werden.



Surfer Script

In der Ansicht **Lageplan** besteht nun die Möglichkeit die x,y,z-Werte direkt an Surfer (ein Programm von Golden Software, u.a. zur Darstellung von Isolinien) zu senden. Die Funktion erfordert, dass das Programm Surfer installiert ist und muss unter Extras/Optionen/Surfer Script konfiguriert werden.





Die Abbildung oben zeigt die Stromlinien in rot. Die Grundwasserfließrichtung ist ESE. Der westliche Brunnen ist ein Injektionsbrunnen, der östliche ein Förderbrunnen, die Förder- bzw. Injektionsraten sind identisch.

Feldvariablen

Für die benutzerdefinierten Felder stehen die folgenden Variablen zur Verfügung:

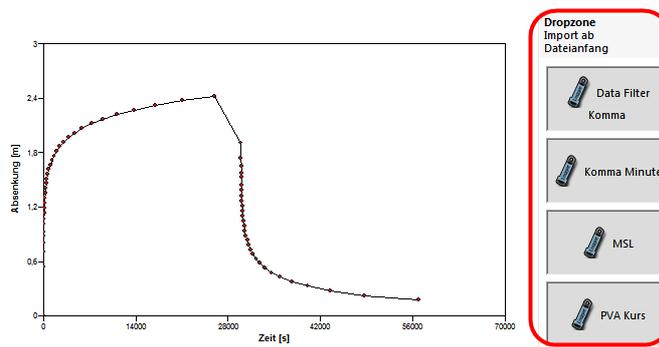
<FILENAME> gibt den Dateinamen aus.

<FILEPATH> gibt den Dateinamen zusammen mit dem vollständigen Pfad aus.

1.2.5 Neues in der Version 7.0

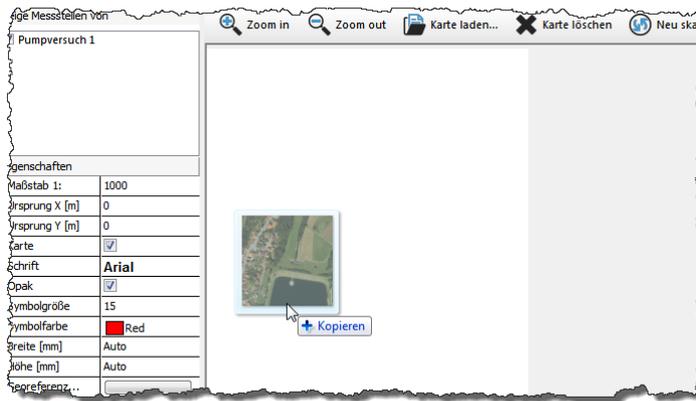
Dropzones für Loggerdaten

Einfaches und bequemes einlesen einer Loggerdatei mittels Drag & Drop auf die passenden Einstellungen.



Drag & Drop für Lageplan

Schnelles importieren eine Grafikdatei mittels Drag & Drop.



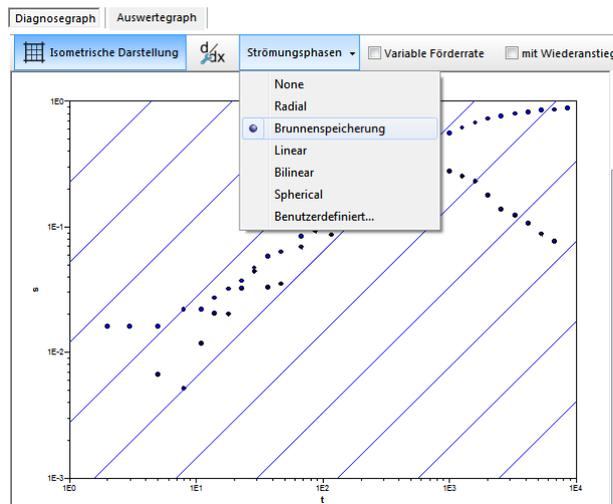
Diagnosegraph

Isometrische Darstellung

In der isometrischen Darstellung sind die Achsen in logarithmischen Dekaden in x und y äquidistant. Dies vereinfacht die visuelle Abschätzung der Strömungsphasen, die durch unterschiedliche Steigung in der Ableitung charakterisiert sind.

Hilfslinien für Strömungsphasen

Das Einblenden von Hilfslinien erleichtert das Identifizieren unterschiedlicher Strömungsphasen. Somit kann einfacher ein hydraulisches Modell bzw. die passende Methode zur Auswertung gewählt werden.

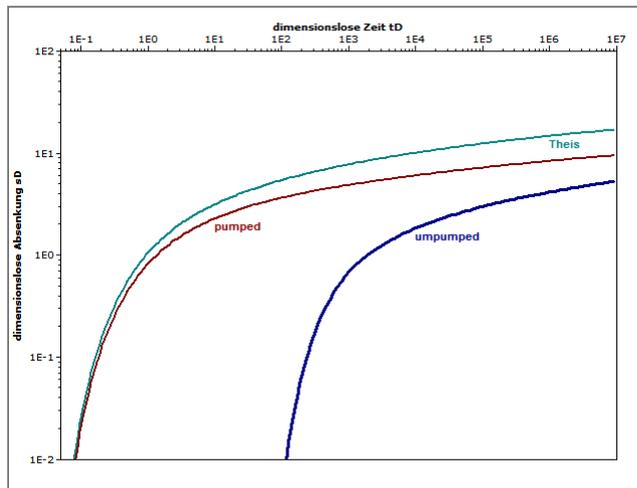


Darstellung bei variable Förderrate und Wiederanstieg

Neu ist auch das der Diagnosegraph mit einer variablen Förderrate bzw. den Wiederanstiegswerten verwendet werden kann.

Neuman & Witherspoon für Multilayer-Aquifer

Zur Auswertung eines 2-Aquifersystems steht nun die Methode von Neuman und Witherspoon (1969a+b) zur Verfügung.

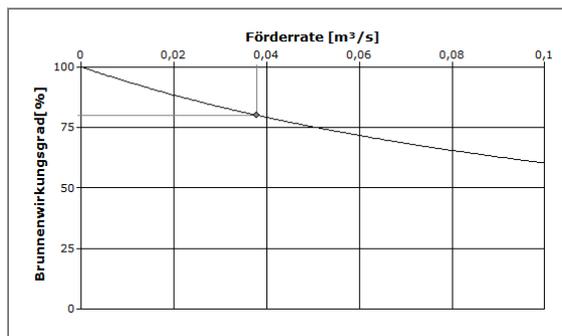


Auswertung nach Dagan (Slug-Test)

Bei den Slug-Tests ist die Auswertmethode nach Dagan (1978) für den freien Aquifer hinzugekommen.

Diagramm Brunnenwirkungsgrad

Das Diagramm zeigt den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Förderrate an.

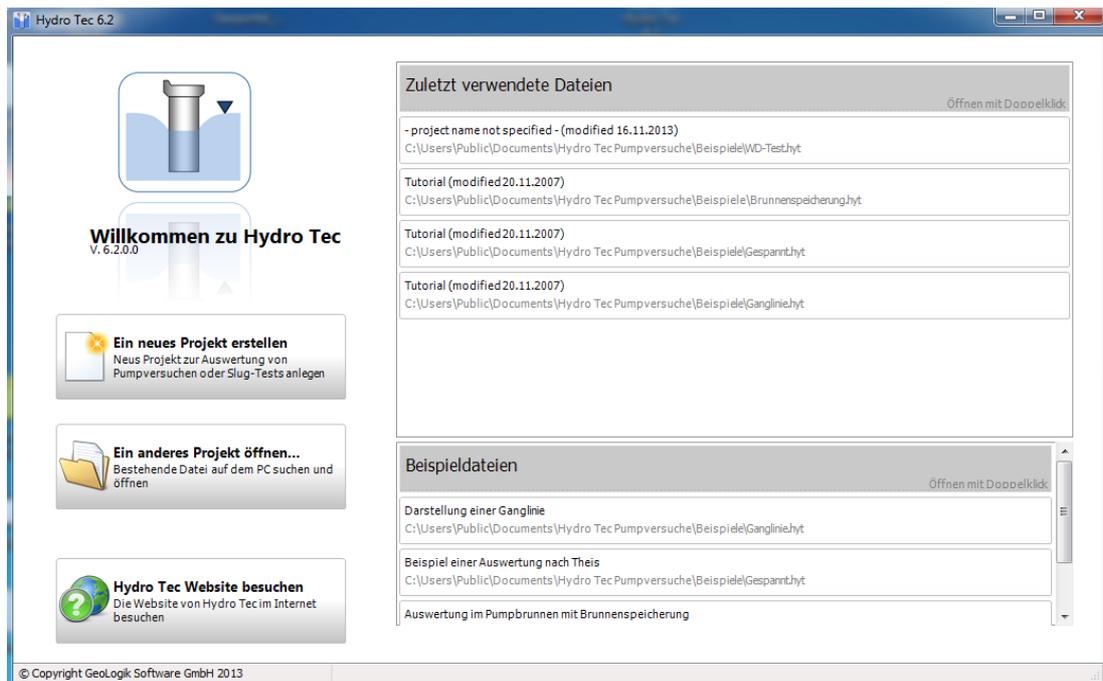


1.2.6 Neues in der Version 6.2

Die Änderungen in der Version 6.2 gegenüber der V. 6.0 im Überblick:

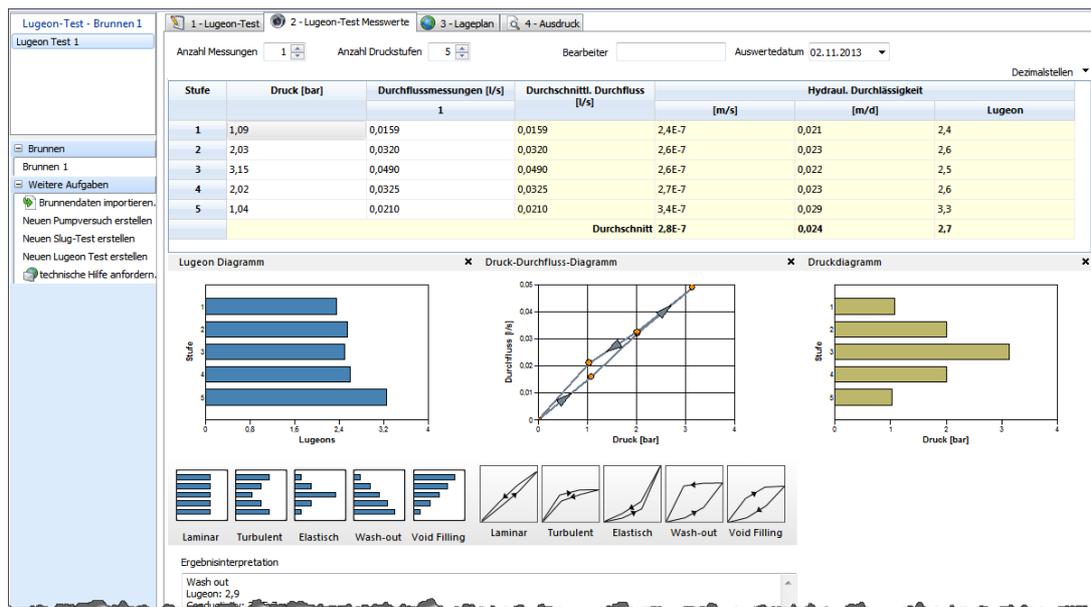
Startbildschirm

Der neue Startbildschirm zeigt die zuletzt bearbeiteten Dateien mit den Projektnamen und Speicherdatum an. Weiterhin erlaubt es den schnellen Zugriff auf Beispieldateien und die Hydro Tec-Website.



WD-Test/Lugeon-Test

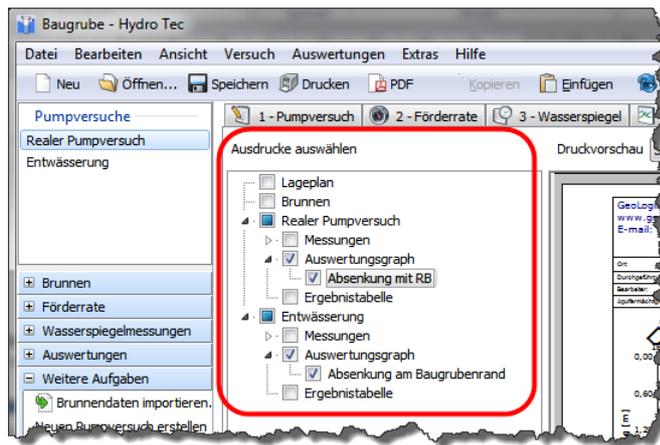
In der Professional-Version ist nun die Auswertung von WD-Tests enthalten.



Neben der Auswertung und Interpretation eines einzelnen Tests befindet sich auch eine Übersicht aller am Bohrloch vorgenommenen WD-Tests auf der Seite Ausdruck.

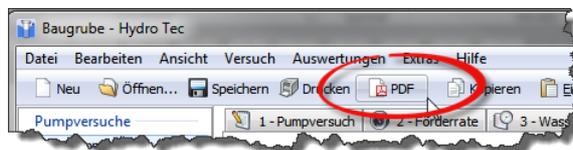
Versuchsübergreifender Ausdruck

Bisher konnten nur Daten und Auswertungen des aktuellen Versuchs ausgedruckt werden. Nun können beim Druck die Berichte aller im Projekt vorhandenen Versuche ausgewählt werden.



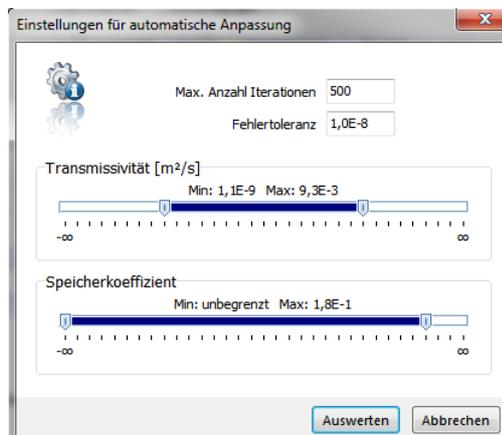
PDF-Integration

Einbindung eines PDF-Treibers und bequemes Erstellen von PDF-Dateien.

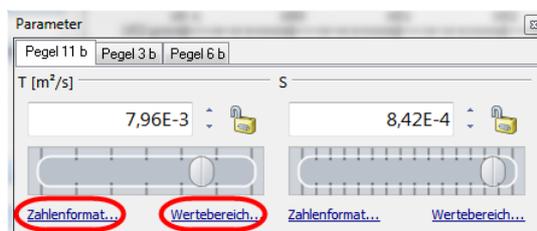


Steuerung der automatischen Anpassung

Bei der automatischen Anpassung („Auswerten“) können nun Wertebereiche vorgegeben werden in denen nach der Lösung gesucht wird. Dies erfolgt übersichtlich über „Schieberegler“:



Parameter – Wertebereich und Zahlenformat können definiert werden



Abhängig von der gewählten Maßeinheit kann es zweckmäßig sein das Zahlenformat eines Parameters anzupassen. Somit kann z.B. festgelegt werden, ob der Wert in wissenschaftlicher Notation oder als Dezimalzahl angezeigt wird.

Beispiel Transmissivität: **20 m²/d** liest sich angenehmer als **2,00 × 10¹ m²/d**.

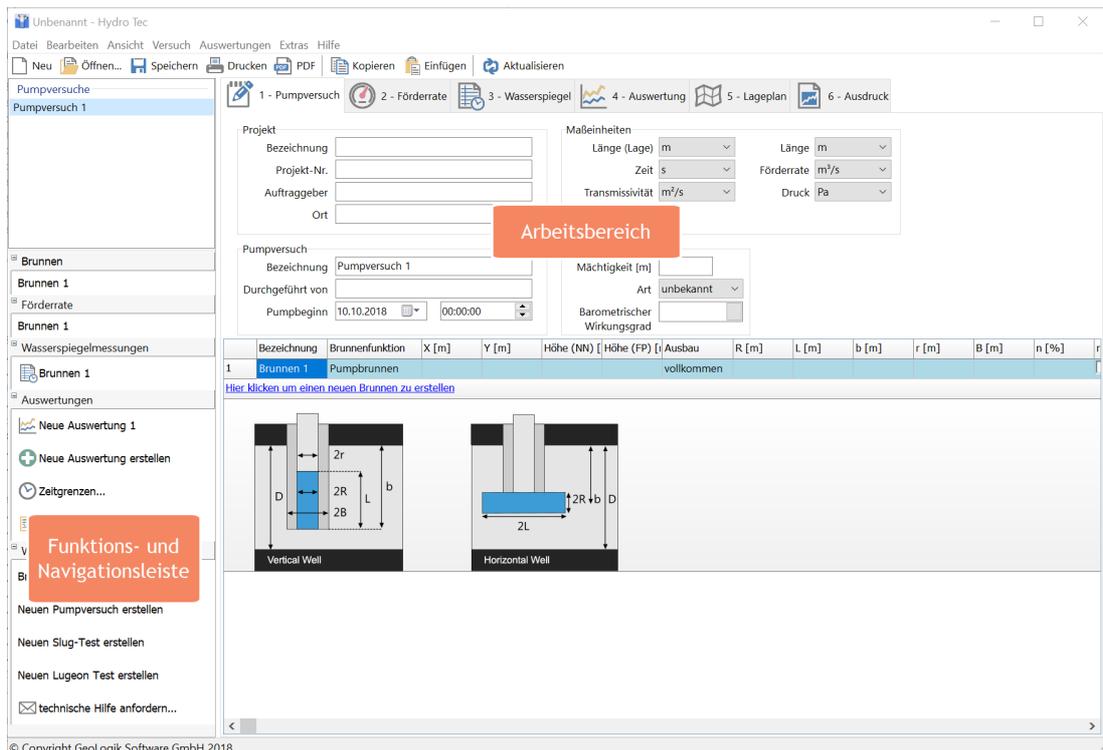


1.3 Programmüberblick

Im Folgenden erhalten Sie einen Überblick über die Funktionen des Programms und den Arbeitsablauf, von der Dateneingabe über die Auswertung bis zum fertigen Ausdruck.

Datenorganisation

Hydro Tec ist eine dateibasierende Anwendung, ähnlich beispielsweise einer Textverarbeitung oder Tabellenkalkulation. In einer Datei, die i.d.R. einem Projekt entspricht, können mehrere Pumpversuche eingegeben und ausgewertet werden. Es muss nicht für jeden Pumpversuch oder jede neue Auswertung eine eigene Datei erstellen. Sobald eine neue Datei angelegt wird zeigt das Programm folgenden Bildschirm:



Auf der linken Seite befindet sich eine kombinierte **Funktions- und Navigationsleiste**. Sie können auf die dort angezeigten Objekte klicken um diese anzuzeigen, z.B. die in **Brunnen 1** gemessene Förderrate. Auch Aktionen wie beispielsweise **Brunnendaten importieren** können von dort ausgeführt werden.

Den Hauptteil des Programmfensters nimmt auf der rechten Seite der **Arbeitsbereich** ein, der (beim Pumpversuch), aus 6 Seiten besteht und, von vorn bis hinten durchgearbeitet, zu den gewünschten Resultaten führt.

Brunnen erstellen

Die wichtigste Aufgabe auf der ersten Seite **Pumpversuch** (oder auch **Slug-Test**) ist die Eingabe der **Brunnen- bzw. Messstellen** in die Tabelle. Jeder Brunnen, für den später Messwerte eingegeben werden, muss hier angelegt werden. Für jeden Brunnen sollte eine **X- und Y-Koordinate** eingegeben werden um spätere Fehlermeldungen zu vermeiden. Hydro Tec verwendet diese Koordinaten zur Berechnung der Abstände. Erforderlich ist auch die Angabe der **Brunnenfunktion**, d.h. ob es sich um einen **Pumpbrunnen** oder einen **Beobachtungsbrunnen** handelt.

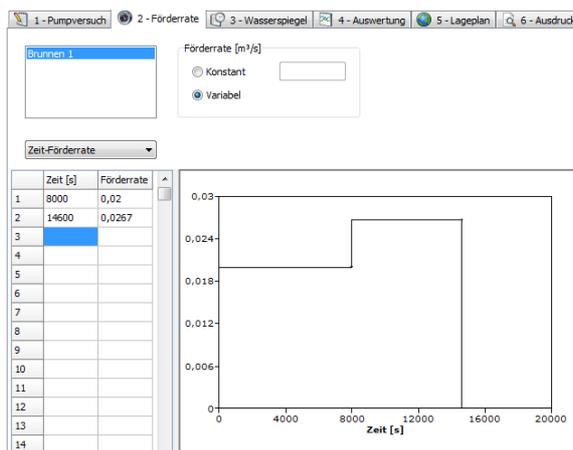
Aquifermächtigkeit eingeben

Eine weitere wichtige Angabe auf dieser Seite ist die **Aquifermächtigkeit**, die bei Auswertungen mit freiem Aquifer bzw. unvollkommenem Brunnen benötigt wird.

Wenn bei der Datenaufbereitung eine Luftdruckkorrektur durchgeführt werden soll muss der **Barometrische Wirkungsgrad BE** angegeben werden. Er kann aber auch anhand von Messungen (Luftdruck-Wasserspiegel) vom Programm berechnet werden, indem die Schaltfläche rechts von dem Eingabefeld angeklickt wird.

Förderrate eingeben

Auf der **Seite 2 – Förderrate** wird die Förderrate eingegeben. Für jeden auf Seite 1 definierten Förderbrunnen kann festgelegt werden, ob die Förderrate konstant oder variabel ist.



Bei variabler Förderrate werden die Messwerte für die Förderrate in die Tabelle eingegeben. Der Graph rechts neben der Tabelle zeigt den Zeit-Förderrate-Verlauf an. Hydro Tec interpretiert die Zeitangaben als Ende der jeweiligen Pumpstufe.

Der Zeitpunkt t=0 ist definiert als der Beginn des Pumpversuchs, d.h. wenn die Pumpe eingeschaltet wird.

Negative Werte für die Förderrate werden vom Programm als injizierte Wassermenge interpretiert (Schluckbrunnen).

Wasserspiegelmessungen eingeben

Auf Seite **3 – Wasserspiegelmessungen** kann für jeden auf der 1. Seite festgelegten Brunnen (d.h. dessen Funktion entweder als Pumpbrunnen, Beobachtungsbrunnen oder Piezometer definiert ist) der zeitliche Absenkungsverlauf eingegeben werden.

Die Wasserspiegelangaben sind standardmäßig als Abstand ROK-Wasserspiegel (Abstich) angelegt und sind im Falle einer Absenkung immer positiv. Der **Ruhewasserspiegel** wird in ein separates Eingabefeld eingetragen, das Programm errechnet daraus die Absenkung. Ein anderes Bezugssystem kann gewählt werden, z.B. NN-Höhen. In diesem Fall müssen Sie für die Brunnen auch die entsprechenden Höhen eintragen.

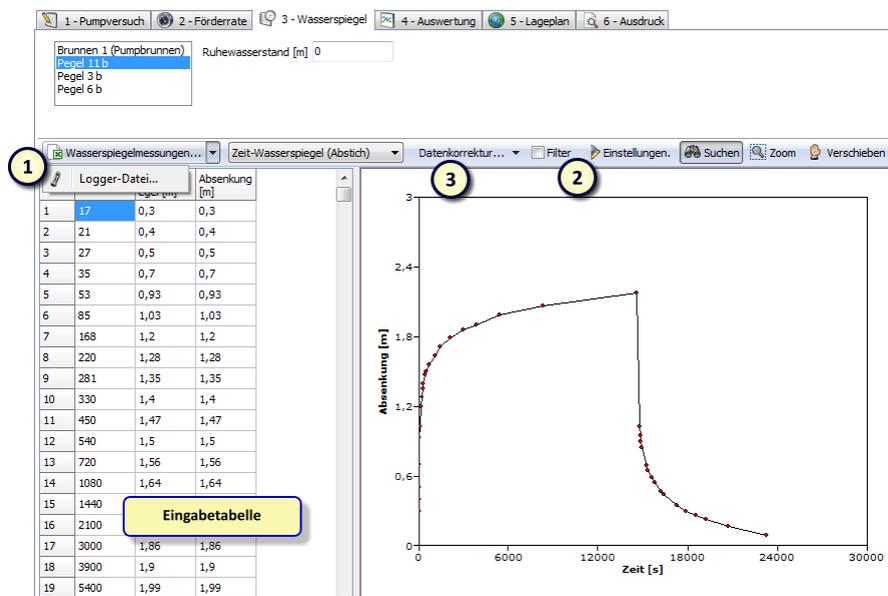
Die Zeilenanzahl in Tabelle wächst automatisch wenn Sie mehr Daten eingeben als angezeigt werden, die mögliche Anzahl der Messwerte im Programm ist annähernd unbegrenzt, zumindest im Rahmen hydrogeologisch sinnvoller Messungen.

Daten importieren

Um Messwerte aus einer Datei einzulesen klicken Sie auf die Schaltfläche **Wasserspiegelmessungen** (1) oder auf den dort befindlichen Pfeil um den Befehl **Logger-Datei** aufzurufen.

Bei einer **Logger-Datei** liegen die Messwerte in der Form Datum, Uhrzeit, Messwert in einer Textdatei vor, und ein Assistent führt sie durch die möglichen Optionen.

Der Befehl **Wasserspiegelmessungen** lädt entweder eine Text- oder Microsoft Excel-Datei in die Tabelle. Die Daten müssen bereits im Format Zeit, Wasserspiegel in den beiden ersten Spalten vorliegen. Der Import von Excel-Dateien erfordert, dass Microsoft Excel auf dem Computer installiert ist. Bei diesen Dateien wird jeweils nur das erste Tabellenblatt importiert.



Daten filtern

Die Anzahl der für die Auswertung verwendeten Messwerte kann mit einem Filter reduziert werden. Die Messwerte werden dabei nicht gelöscht, sie werden nur nicht mehr zur Auswertung herangezogen bzw. dort angezeigt. Um Daten zu filtern muss ein Filter definiert sein, beim erstmaligen Markieren der Filter-Checkbox (2) erscheint der entsprechende Dialog automatisch, ansonsten klicken Sie auf **Einstellungen** direkt neben der Filter-Checkbox.

Durch die Reduzierung der Anzahl der Messwerte verringert sich die Zeit die vom Programm zur automatischen Optimierung der Aquiferparameter benötigt wird.

Datenkorrektur (3)

Die ursprünglichen Messwerte können mit einer Vielzahl von Methoden bzw. Formeln verändert werden, um bestimmte Effekte aus den Wasserspiegelmessungen herauszurechnen und wirklich nur die durch das Pumpen verursachte Absenkung auszuwerten.

Trendbereinigung

Ist der Trendkoeffizient bekannt kann er direkt eingegeben werden. Hierzu klicken Sie auf **Datenkorrektur**, wählen im nachfolgenden Dialog **lineare Funktion der Zeit** und geben den Koeffizient an. In der Dateneingabetabelle erscheint daraufhin eine zusätzliche Spalte die den entsprechenden Absenkungsbetrag anzeigt. Durch Anklicken der Spaltenüberschrift gelangt man wieder in den Dialog zum Bearbeiten der Korrektur.

Ist der Trendkoeffizient nicht bekannt, kann er vom Programm mit der Befehl **Trendbereinigung** aus dem Menü **Versuch** berechnet werden. Hydro Tec untersucht zusätzlich noch die Messwerte mit einem t-Test, um festzustellen, ob der Trend signifikant ist.

Luftdruckkorrektur

Um die Wasserspiegelmessungen einer **Luftdruckkorrektur** zu unterziehen wählt man die Funktion **Versuch/Luftdruckkorrektur**. Die fügt zu allen im Versuch verwendeten Messstellen eine Spalte mit der durch die Luftdruckänderung verursachten Wasserspiegeländerung hinzu. Zur Berechnung dieses Wertes ist der **Barometrische Wirkungsgrad BE** erforderlich, der auf der Registerkarte **1 – Pumpversuch** angegeben wird.

Weitere Messwertkorrekturen

Hydro Tec verfügt über mehrere Formelvorlagen zur Korrektur der Messwerte, auch zum Ausgleich periodischer Schwankungen. Jede Korrektur kann entweder lokal, d.h. nur für diese Messstelle, oder global, d.h. für alle Messstellen im Versuch, angewendet werden.

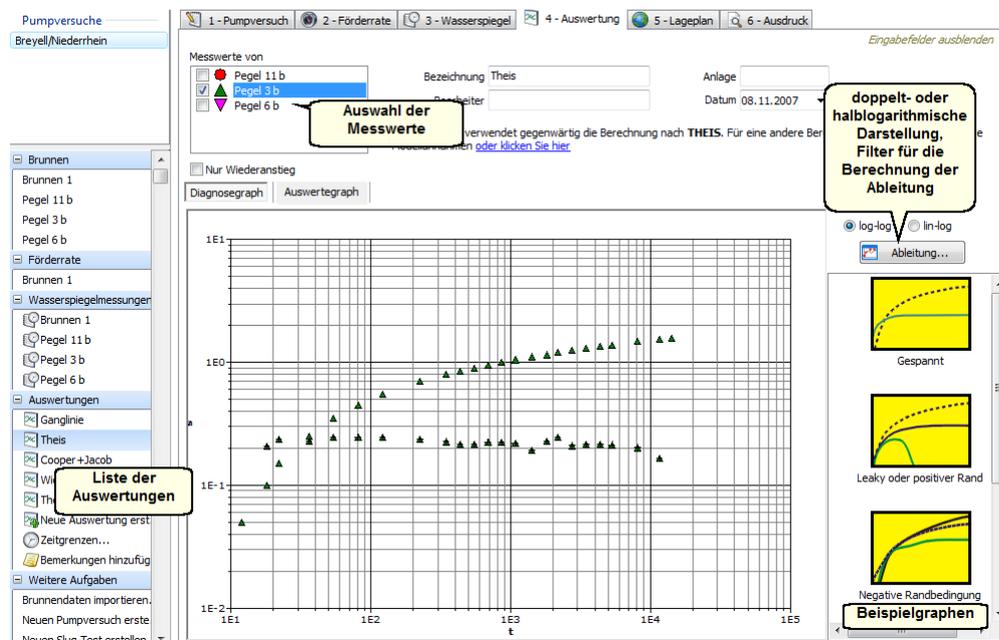
Auswerten

Auf der Seite **4 – Auswertung** stellt das Programm 2 unterschiedliche Graphen zur Verfügung, den **Diagnosegraph** und den **Auswertgraph**. Bedenken Sie, dass mehrere Auswertungen für einen Pumpversuch möglich sind. Diese werden in der Liste der Auswertungen angezeigt. Mit dem Befehl **Auswertung/Neue Auswertung erstellen** wird eine neue Auswertung angelegt. Auf diese Weise können Sie problemlos unterschiedliche Auswertungen für die einzelnen Messstellen durchführen.

Diagnosegraph

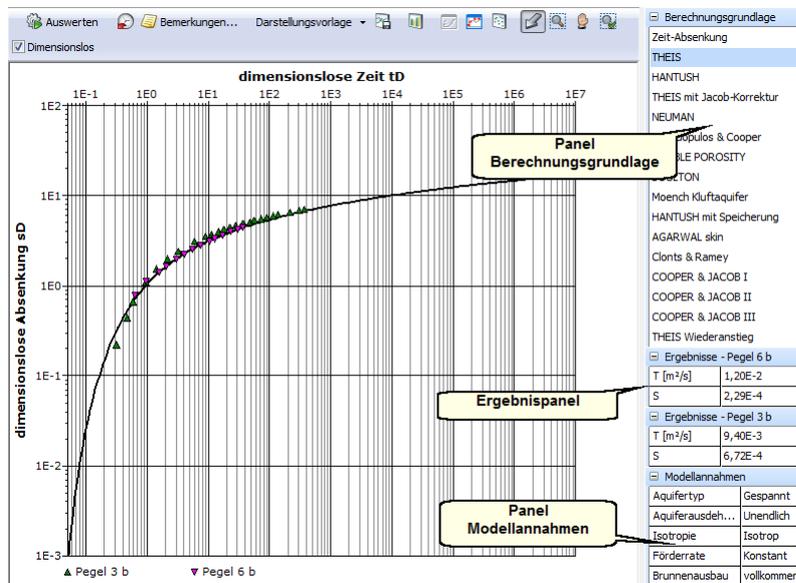
Der Diagnosegraph dient zur Identifikation des Aquifertyps, z.B. ob es sich um einen gespannten oder ungespannten Aquifer handelt. Es können hierbei die Messwerte wahlweise doppellogarithmisch oder halblogarithmisch aufgetragen werden. Auf der rechten Seite, neben dem eigentlichen Graphen, werden die für verschiedene Aquifertypen charakteristischen Verläufe schematisch dargestellt.

Das Programm zeigt ebenfalls die Ableitung der Messwerte an, deren Verlauf die Identifikation oftmals leichter macht als der der Messwerte.



Auswertgraph

Im Auswertgraphen wird die eigentliche Berechnung der Aquiferparameter vorgenommen. Rechts neben dem eigentlichen Graphen befindet sich die Eigenschaftsleiste der Auswertung mit mehreren Panels.



Panel Modellannahmen

Dieser Bereich in der Eigenschaftsleiste zeigt die **Modellannahmen** zur Auswertung an. Diese bestimmen die Berechnungsmethode nach der die eingezeichnete theoretische Absenkungen bzw. die Typkurven erstellt werden. Die aktuell verwendete Methode wird oberhalb des Graphen und unter **Berechnungsgrundlage** angezeigt.

Ergebnisse

Für jede Messstelle deren Daten in dem Auswertgraphen angezeigt werden erstellt das Programm unterhalb der **Berechnungsgrundlage** einen Ergebnisblock mit den Aquiferparametern. Die Anzahl der Parameter variiert mit der Berechnungsmethode, beinhalten aber zumindest T (Transmissivität) und S (Speicherkoefizient). Wenn eine Messstelle in die Auswertung hinein gewählt wird werden die Parameter mit $T = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $S = 10^{-4}$ initialisiert und eine entsprechende Zeit-Wasserspiegel-Linie wird angezeigt.

Die Werte können geändert werden, das Programm zeichnet dann die entsprechende Linie sobald das Parametereingabefeld verlassen wird.

Automatische Anpassung

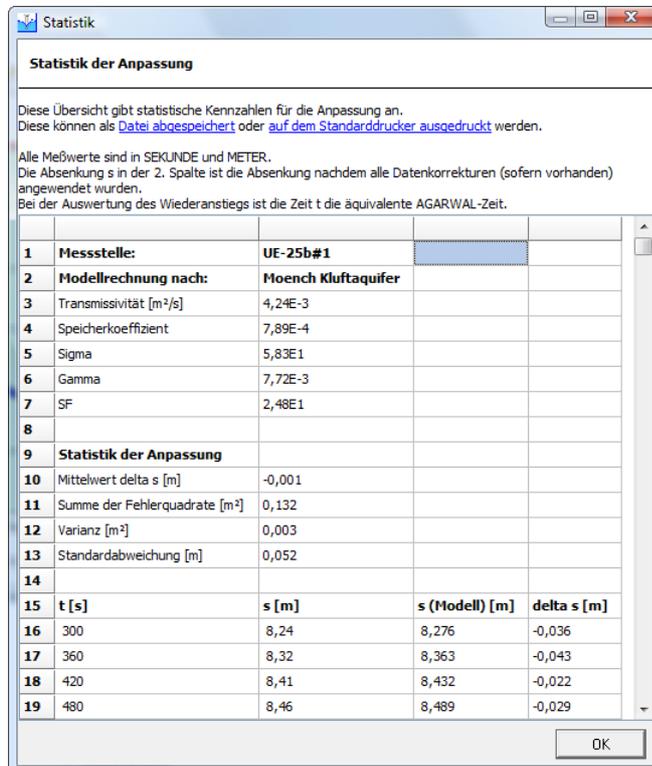
Die Schaltfläche **Auswerten** ganz links auf dem Auswert-Toolbar führt eine automatische Anpassung der Messwerte an die theoretischen Werte der Typkurve durch, wobei die Aquiferparameter so verändert werden, dass der Fehler möglichst klein wird. Die automatische Anpassung wird für die Messstelle vorgenommen, die in der Liste **Messwerte von** markiert ist.

Sowohl nach erfolgreicher wie auch nach erfolgloser Anpassung wird eine entsprechende Meldung im Statusfenster eingetragen.

Die Schaltfläche **Ausschließen** dient dazu, gewisse Bereiche von der automatischen Anpassung auszunehmen. Dies können z.B. Messwerte zu Beginn des Pumpversuchs sein, die Brunnenspeichereffekte repräsentieren.

Qualität der Anpassung

Mit **Auswertung/Statistik** kann eine detaillierte Statistik zur Überprüfung der Anpassung (manuell oder automatisch) aufgerufen werden. Die Statistik bezieht sich auf die aktuell ausgewählte Messstelle und zeigt Mittelwert Δs , Summe der Fehlerquadrate, Varianz und Standardabweichung an. Im oberen Bereich wird die gewählte Berechnungsmethode mit den Parametern angezeigt. Im unteren Bereich befindet sich eine Tabelle, die jeden Messwert (t , s) zusammen mit der theoretischen Absenkung s_{Modell} und der Differenz Δs enthält.



Statistik der Anpassung			
Diese Übersicht gibt statistische Kennzahlen für die Anpassung an. Diese können als Datei abgespeichert oder auf dem Standarddrucker ausgedruckt werden.			
Alle Meßwerte sind in SEKUNDE und METER. Die Absenkung s in der 2. Spalte ist die Absenkung nachdem alle Datenkorrekturen (sofern vorhanden) angewendet wurden. Bei der Auswertung des Wiederanstiegs ist die Zeit t die äquivalente AGARWAL-Zeit.			
1	Messstelle:	UE-25b#1	
2	Modellrechnung nach:	Moench Kluftaquifer	
3	Transmissivität [m^2/s]	4,24E-3	
4	Speicherkoefizient	7,89E-4	
5	Sigma	5,83E1	
6	Gamma	7,72E-3	
7	SF	2,48E1	
8			
9	Statistik der Anpassung		
10	Mittelwert delta s [m]	-0,001	
11	Summe der Fehlerquadrate [m^2]	0,132	
12	Varianz [m^2]	0,003	
13	Standardabweichung [m]	0,052	
14			
15	t [s]	s [m]	s (Modell) [m] delta s [m]
16	300	8,24	8,276 -0,036
17	360	8,32	8,363 -0,043
18	420	8,41	8,432 -0,022
19	480	8,46	8,489 -0,029

Die Statistik dann durch Anklicken der entsprechenden Links abgespeichert oder ausgedruckt werden. Sie können auf Bereich mit der Maus markieren und mit STRG+C in die Zwischenablage kopieren.

Bemerkungen eingeben

Um einen Kommentar zu der Auswertung einzugeben verwenden Sie die Schaltfläche **Bemerkungen** auf dem Auswert-Toolbar. Dieser Text taucht im Ausdruck unterhalb der Ergebnistabelle auf. Da deren Länge variiert sollten Sie in der Druckvorschau kontrollieren, ob der Text vollständig auf dem Ausdruck erscheint.

Lageplan

Hydro Tec zeichnet die vorhandenen Brunnen automatisch in einen Lageplan ein. Dieser kann mit einem Kartenbild versehen werden, z.B. einer topographischen Karte, einem Luft- oder Satellitenbild etc. Klicken Sie dazu auf die Schaltfläche **Karte öffnen** und wählen die gewünschte Grafikdatei aus. Die Grafikdatei muss im dann folgenden Dialog georeferenziert werden, damit sie in Hydro Tec im richtigen Maßstab und an korrekter Position angezeigt wird.

In der Liste **Zeige Messstellen von** kreuzen Sie die Pumpversuche an, deren Brunnen im Lageplan angezeigt werden sollen.

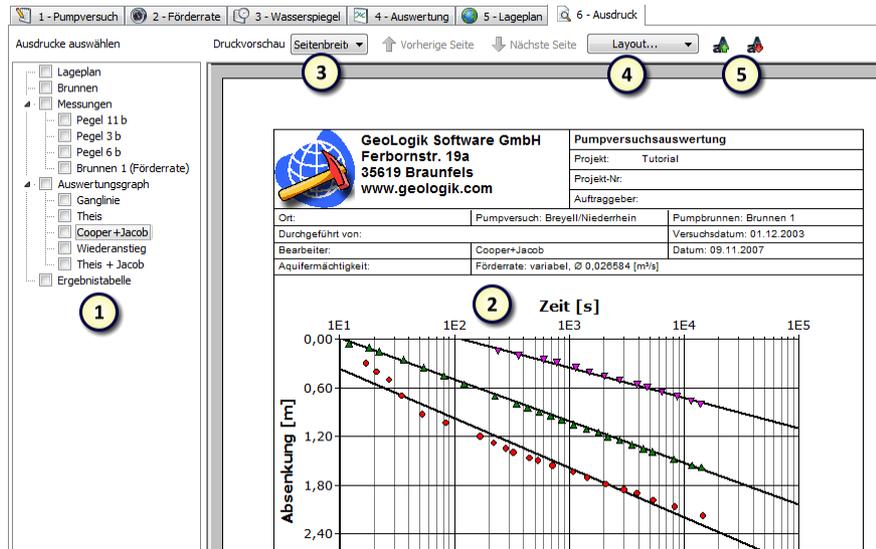
In der Leiste **Eigenschaften** können Sie die Darstellungsoptionen vornehmen, wie beispielsweise Größe und Farbe der Brunnensymbole.

Die Professional-Version erlaubt eine Darstellung der Grundwasseroberfläche (Linien gleicher Absenkung) als Isolinienplan bzw. Farbverlaufskarte. Ein ausführliches Anwendungsbeispiel dazu enthält das Kapitel **Pumpversuch mit mehreren Pumpbrunnen**.

Ausdrucken

Auf der Registerseite **6 – Ausdruck** wird festgelegt, welche Berichte das Programm ausdrucken soll. Die Liste der Berichte (1) zeigt die zur Verfügung stehenden Ausdrücke in hierarchischer Ordnung für den aktuellen Pumpversuch an. Setzen Sie einen Haken vor jeden Bericht den Sie drucken möchten. Auf der rechten Seite sehen Sie eine Vorschau (2) des aktuell ausgewählten Berichts. Den Zoomfaktor für die Vorschau kann in Liste (3) ausgewählt werden.

In mehrseitigen Berichten, z.B. bei umfangreichen Messwerttabellen, können Sie mit den Schaltflächen **Vorherige** bzw. **Nächste Seite** durch den Bericht blättern.



Unter der Schaltfläche **Layout** (4) steht ein Menü zur Verfügung, in dem sowohl der Firmenname und das Firmenlogo wie auch für einige Berichte (z.B. Brunnenübersicht) die angezeigten Spalten bearbeitet werden können. Mit den Schaltflächen (5) wird die Schriftgröße im Ausdruck vergrößert bzw. verkleinert.

Drucker auswählen

Beachten Sie, dass Hydro Tec keinen Druckdialog einblendet bevor der Druckvorgang startet, d.h. sobald Sie im Menü **Datei** den Befehl **Drucken** wählen beginnt das Drucken. Um einen anderen Drucker auszuwählen bzw. den Drucker einzurichten verwenden Sie den Befehl **Drucker einrichten** aus dem Menü **Datei**.

In der **Druckvorschau** sehen Sie zwischen dem Blattrand und der weißen Seite einen dunkelgrauen Bereich. Dieser zeigt den Bereich an, welchen der Drucker nicht bedrucken kann.

Layout verändern

Um den **Firmennamen** oder das **–logo** zu ändern oder die **Seitenränder** einzustellen klicken Sie auf **Optionen** im Menü **Extras**. Dort können die notwendigen Einstellungen auf der Seite **Ausdruck** vorgenommen werden. Diese werden als Voreinstellungen, unabhängig von der aktuellen Datei, gespeichert.

Druck aus den anderen Ansichten

Wenn Sie sich auf einer anderen Registerkarte als **6 - Ausdruck** befinden und den Befehl **Drucken** wählen, gibt das Programm den der aktuellen Ansicht entsprechenden Bericht aus:

Ansicht	Bericht
1 - Pumpversuch	Brunnenübersicht
2 - Förderrate	Messwerttabelle
3 - Wasserspiegelmessungen	Messwerttabelle

Ansicht	Bericht
4 - Auswertung	Auswertgraphen
5 - Lageplan	Lageplan

1.4 Grundeinstellungen

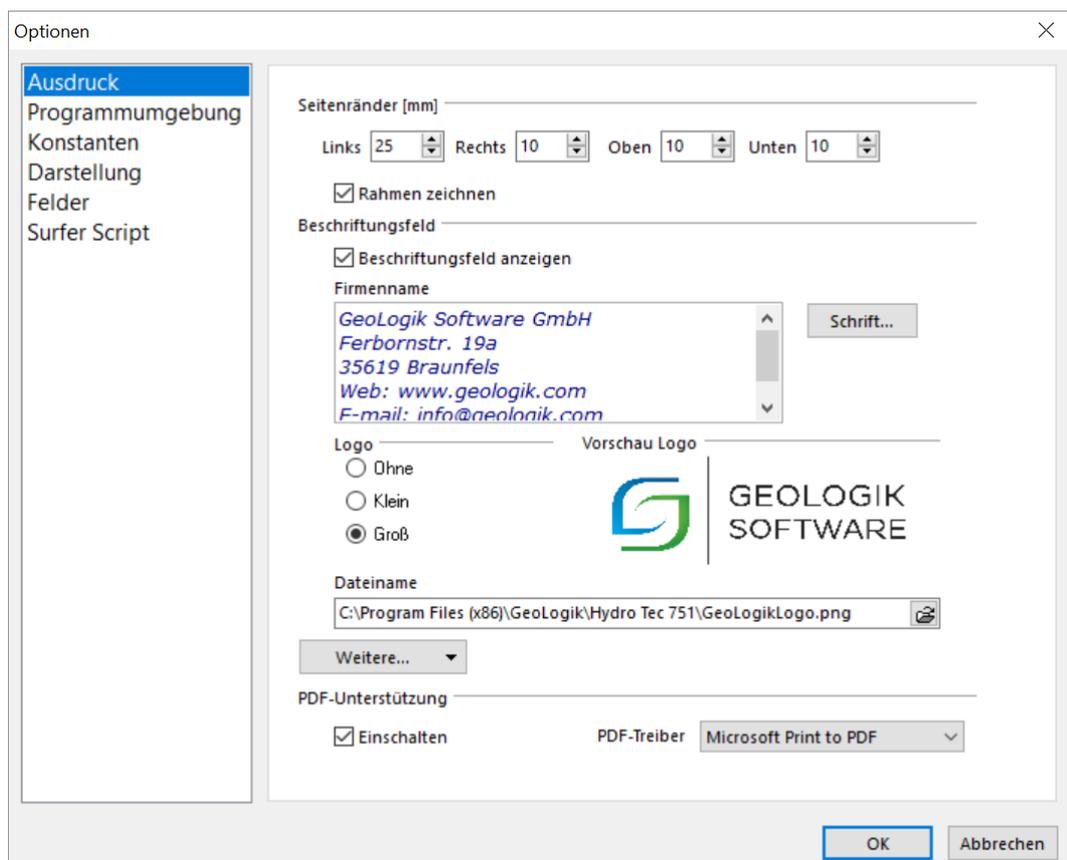
Bevor Sie mit der Arbeit mit Hydro Tec beginnen, sollten Sie sich mit den Grundeinstellungen vertraut machen. Diese Angaben werden Sie normalerweise nur sehr selten verändern. Sie rufen das Fenster für die Grundeinstellungen mit **Extras/Optionen** auf.

Es enthält die Seiten Ausdruck, Programmumgebung, Konstanten, Darstellung, Felder, Surfer Script. und Tile Server.

Sprache auswählen

Unter **Extras/Sprache** bzw. **Tools/Language** kann zwischen **Deutsch** und **Englisch** gewechselt werden. Obwohl das Programm annähernd on-the-fly übersetzt, empfehlen wir den Neustart von Hydro Tec, nachdem die Sprache geändert wurde.

1.4.1 Ausdruck



Seitenränder einstellen

Auf dieser Seite geben Sie die Voreinstellungen für die Ausdrücke an. Unter **Seitenränder** wird der Abstand in Millimeter eingegeben und es kann ausgewählt werden, ob ein Rahmen um die Seite gezeichnet wird.

Beschriftungsfeld

Das **Beschriftungsfeld** kann wahlweise mit angezeigt werden. Nehmen Sie unter **Firmenname** die gewünschten Eintragungen vor und wählen mit der Schaltfläche **Schrift** die gewünschte Schrift.

Ihr **Firmenlogo** können Sie entweder Klein (quadratisch) oder Groß (dann ohne Firmenname) im Beschriftungsfeld anzeigen lassen. Hydro Tec unterstützt die Dateiformate BMP, JPG, PNG, TIF, WMF und EMF.

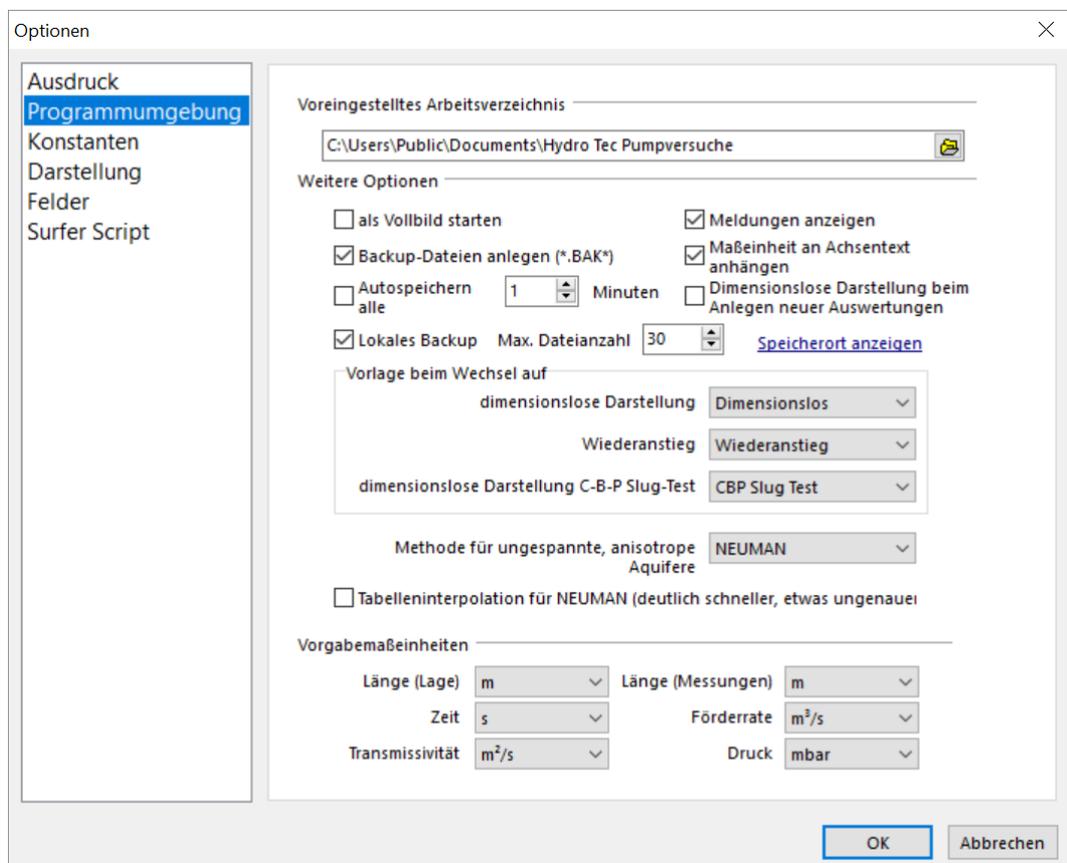
Tipp:

Wenn Ihnen die Gestaltungsmöglichkeiten in Hydro Tec für Ihren Firmenkopf nicht ausreichen, entwerfen sie ihn in einem Grafikprogramm und speichern ihn in einem der unterstützten Formate ab. Zeigen sie diese Datei dann als großes Logo in Hydro Tec an.

PDF-Unterstützung

Markieren Sie **Einschalten** und wählen den gewünschten **PDF-Treiber** aus. Daraufhin zeigt das Programm die Schaltfläche **PDF** im Haupt-Toolbar an.

1.4.2 Programmumgebung



Das voreingestellte **Arbeitsverzeichnis** legt fest, welches Verzeichnis beim Öffnen bzw. Speichern von Dateien verwendet wird. Normalerweise ist dies ihr Verzeichnis „Eigene Dateien“, es kann aber auch jedes beliebige andere Verzeichnis sein. Wenn Sie z.B. die Pumpversuchsauswertungen projektbezogen auf einem Netzwerklaufwerk (Server) ablegen, sollten Sie diesen Pfad hier angeben, um sich umständliches Klicken durch den Verzeichnisbaum zu ersparen.

Soll Hydro Tec beim Starten in voller Bildschirmgröße angezeigt werden markieren Sie die Option **als Vollbild starten**.

Die Option **Meldungen anzeigen** bewirkt, dass insbesondere beim Arbeiten auf der Seite Auswertung, Meldungen ausgegeben werden. Das kann zum Beispiel ein Hinweis über eine erfolgreiche oder erfolglose automatische Anpassung sein, aber auch fehlende Parameter (z.B. Ausbaudaten, Aquifermächtigkeit) werden dann gemeldet.

Maßeinheit an Achsentext anhängen veranlasst Hydro Tec in den Auswertgraphen die jeweils gültige Maßeinheit an den eingetragenen Text anzuhängen. Wenn beispielsweise für die Zeitachse der Text „Zeit“ angegeben ist erscheint dann „Zeit [s]“ (bei Sekunde als aktueller Maßeinheit für die Zeit).

Ist die Option **Dimensionslose Darstellung beim Anlegen neuer Auswertungen** gewählt werden neue Auswertungen automatisch dimensionslos dargestellt und die entsprechende Vorlage (s.u.) wird angewendet.

Dateisicherheit

Um **Backup-Dateien** anzulegen markieren Sie die entsprechende Option. Backup-Dateien sind jeweils die vorletzte Version ihres Dokuments – beim Speichern wird die Dateieindung der vorherige Version in BAK geändert und die aktuelle Version des Dokuments mit der Dateieindung HYT wird erstellt. Dies erfordert natürlich den doppelten Speicherplatz für ihre Daten.

Die Option **Autospeichern** veranlasst Hydro Tec zum Abspeichern der Daten in dem angegebenen Zeitintervall. Bedenken Sie dabei, dass eventuell Änderungen an der Datei automatisch abgespeichert werden. Wenn Sie z.B. eine Datei öffnen, einen Auswertung löschen oder verändern und das Programm dabei über den eingestellten Zeitraum hinaus laufen lassen, wird die Änderung abgespeichert, obwohl Sie nicht explizit Datei/Speichern gewählt haben. Dies kann u.U. zu Datenverlust führen.

Die Option **Lokales Backup** bewirkt, dass bei jedem Abspeichern eine Kopie der Datei auf dem lokalen Laufwerk abgelegt wird. Der Dateiname besteht dann auf dem Zeitstempel. Bei Überschreiten der **maximal Dateianzahl** werden ältere, bestehende Dateien überschrieben. Klicken Sie auf **Speicherort anzeigen** um das Sicherungsverzeichnis im Datei-Explorer zu öffnen. Nach unseren Erfahrungen treten defekt Dateien vornehmlich auf Netzlaufwerken auf.

Vorlage beim Wechsel auf

In diesem Bereich werden Formatierungsvorlagen angegeben die vom Programm verwendet werden, sobald im Auswertgraph die entsprechende Änderung vorgenommen wird:

1. Wechsel auf dimensionslose Darstellung
2. Auswertung des Wiederanstiegs
3. Wechsel auf dimensionslose Darstellung bei der Auswertung eines Slug-Tests nach Cooper, Bredehoeft & Papadopoulos

Dabei werden typischerweise bestimmte Formatierungen ausgewählt, z.B. wird die Achsenskalierung logarithmisch dargestellt und die Achsenbeschriftungen wird angepasst. Wird die dimensionslose Darstellung bzw. der Wiederanstieg wieder deaktiviert, wendet das Programm keine Darstellungsvorlage automatisiert an. Das Programm wird u.a. mit der Darstellungsvorlage „Dimensionslos“ ausgeliefert, welche doppelt-logarithmisch einen typischen Wertebereich erfasst.

Freie, anisotrope Aquifere

In der Auswahlliste kann für den ungespannten anisotropen Aquifer festgelegt werden, ob NEUMAN oder BOULTON als Standardmethode vom Programm verwendet werden. Die BOULTON-Methode ist deutlich schneller zu berechnen und liefert ähnliche Durchlässigkeiten wie NEUMAN.

Für die Neuman-Methode steht eine Tabelleninterpolation zur Verfügung die deutlich schneller ist als die exakte Berechnung, dafür aber etwas ungenauer. Das kann insbesondere bei der Darstellung der Ableitung u.U. zu Abweichungen führen.

Standardmaßeinheiten festlegen

Unter **Vorgabemaßeinheiten** wird bestimmt, welche Maßeinheiten das Programm beim Anlegen neuer Dateien verwendet. Die Angabe unter **Länge (Lage)** bezieht sich nur auf die x,y-Koordinaten sowie die beiden Höhenangaben der Brunnen.

1.4.3 Konstanten

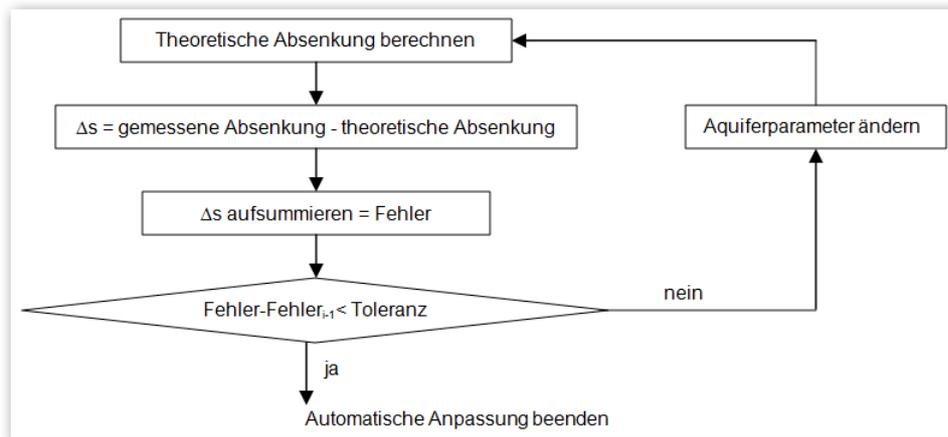
Hydro Tec verwendet die hier eingestellten physikalischen und mathematischen Konstanten für verschiedene Berechnungen.

Die **Dichte von Wasser** und die **Erdbeschleunigung** werden z.B. bei der Luftdruckkorrektur verwendet.

Der **Vertrauensbereich des t-Tests** wird bei der Trendbereinigung benutzt. Damit wird festgestellt, ob die Daten zur Berechnung eines Trends signifikant sind oder nicht.

Unter **Optionen zur automatischen Anpassung** bestimmen Sie die **maximale Anzahl der Iterationen** die das Programm bei der Suche nach den Aquiferparametern vornimmt.

Die **Toleranz** gibt bei der numerischen Optimierung der Aquiferparameter den Wert für die Δ Fehleränderung an, d.h. das Abbruchkriterium des Algorithmus. Generell arbeitet der automatische Anpassung wie folgt:



Die Option **Hinweisfenster bei erfolgloser Anpassung** bestimmt, ob ein Fenster angezeigt wird, in dem u.a. die Möglichkeit besteht, die Toleranz und Iterationsanzahl zu ändern oder Parameter zu sperren.

Der **Parameter-Faktor** gibt den Faktor an, um den das Programm multipliziert bzw. dividiert wenn Sie im Fenster Parameter auf die Pfeile klicken oder im Eingabefeld die Cursor hoch/runter Tasten betätigen.

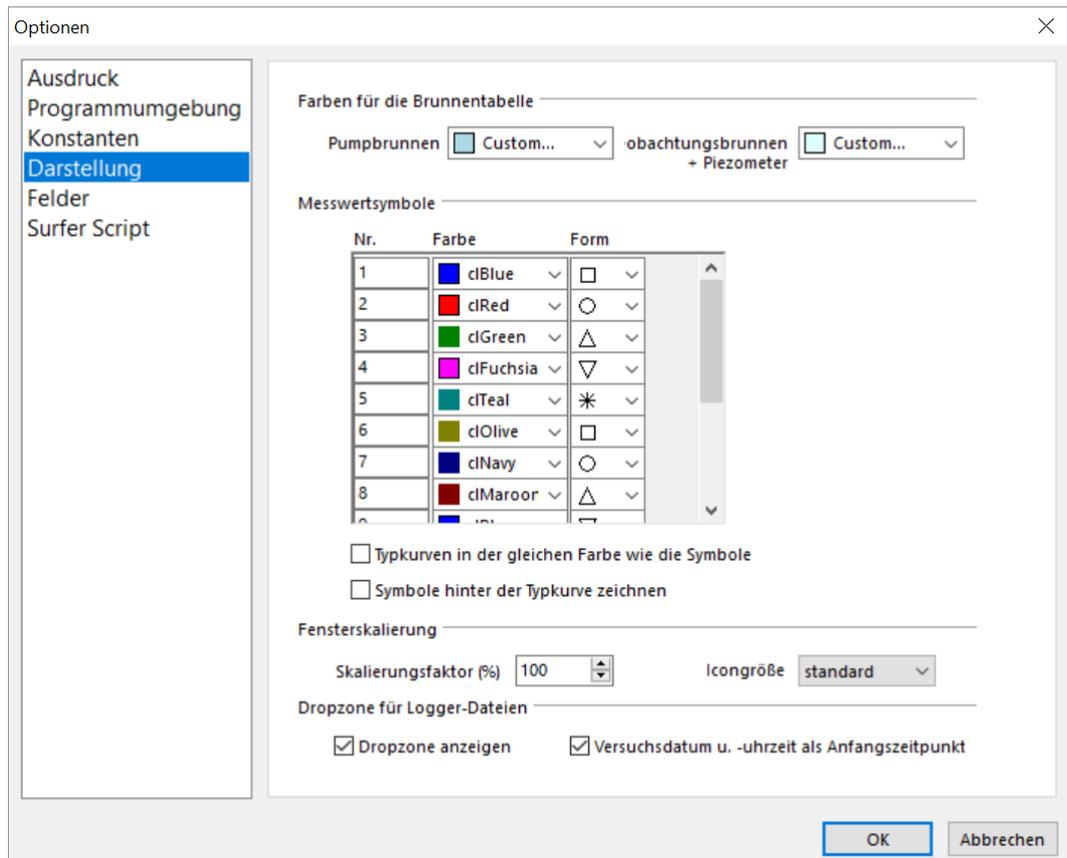
Das **Cooper & Jacob Gültigkeitskriterium** gibt den Wert für u an, bei dem eine blau gestrichelte Hilfslinie im Auswertgraphen gezeichnet wird, selbstverständlich nur bei den Cooper & Jacob-Verfahren.

Die Option **Abstand-Absenkung nächster Punkt** bezieht sich auf die Auswahl des Absenkungswertes beim Abstands-Absenkungs-Verfahren.

Beispiel:

Sie legen den Zeitpunkt der Auswertung auf 1000 s fest. Messwerte sind aber nur bei 951 s und 1050 s vorhanden. Bei der Auswahl **linear** würde Hydro Tec den Wert bei 951 s wählen, da Δt dort nur 49 s beträgt anstatt 50 s. Bei logarithmisch wäre es umgekehrt, Betrag $\log(951) - \log(1000) = 0,0218$, während Betrag $\log(1050) - \log(1000) = 0,0211$ ist, d.h die Differenz ist dann geringer.

1.4.4 Darstellung



Auf der Seite **Darstellung** können Sie die Farben angeben, welche zur Markierung der Brunnenfunktion in der Tabelle verwendet werden:

	Bezeichnung	Brunnenfunktion	X [m]
1	Brunnen 1	Pumpbrunnen	
2	Brunnen 2	Beobachtungsbrunnen	
3	Brunnen 3	Nicht verwendet	

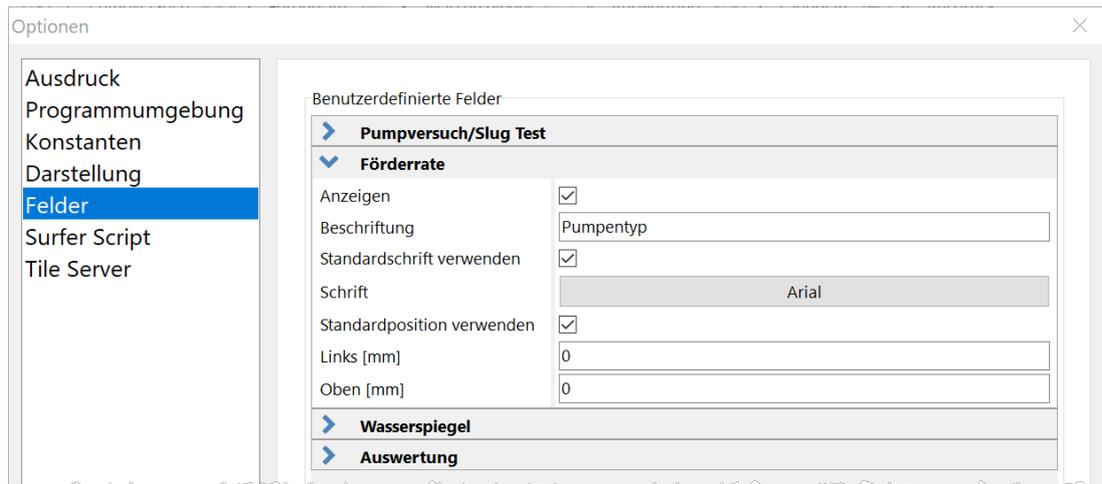
[Hier klicken um einen neuen Brunnen zu erstellen](#)

Unter **Messwertsymbole** sind 15 verschiedene Kombinationen aus Farbe und Form zur Darstellung der Daten in den Graphen aufgeführt. Sie können in Hydro Tec selbstverständlich mit mehr als 15 Brunnen/Messstellen arbeiten, in den Graphen verwendet dann der 16. Brunnen die Form-Farbgebung des 1., der 17. des 2. usw.

Die Messwertsymbole sind Programmeinstellungen und werden nicht zusammen mit der Datendatei abgespeichert.

Unter **Skalierungsfaktor** kann ein Wert <100 eingetragen werden, damit das Hauptfenster auch bei hohen dpi-Einstellungen vollständig angezeigt wird.

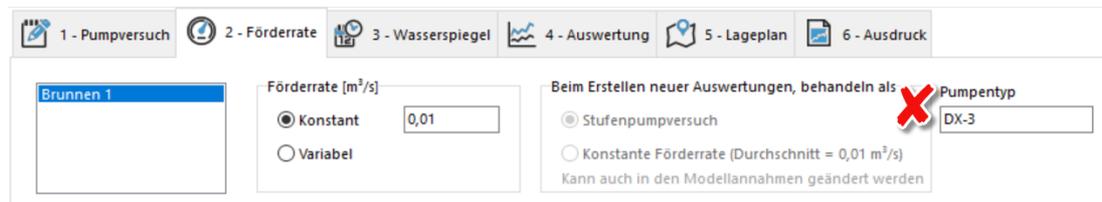
1.4.5 Felder



Die Seite **Felder** ermöglicht das Hinzufügen benutzerdefinierter Felder um weitere Informationen zu erfassen. Es steht für die Seiten Pumpversuch, Förderrate, Wasserspiegelmessungen und Auswertung jeweils ein Feld zur Verfügung.

Um ein Feld hinzuzufügen gehen Sie wie folgt vor:

- Wählen Sie das gewünschte Eingabepanel aus, z.B. **Förderrate** um dort den Pumpentyp einzutragen.
- Setzen Sie eine Haken bei **Anzeigen**.
- Geben Sie eine **Beschriftung** ein, z.B. *Pumpentyp*.
- Wenn die Optionen **Standardschrift** und **Standardposition verwenden** gewählt sind taucht der Eintrag dann im Kopf des Ausdrucks auf. Möchten Sie die Position selbst festlegen entfernen Sie den Haken bei **Standardposition verwenden**. Sie können nun entweder die Position in mm direkt eingeben (gemessen von der oberen linken Seitenecke) oder auch später auf der Seite Ausdruck das Feld mit der Maus an die gewünschte Position ziehen.



Der Ausdruck in der Standardposition sieht dann z.B. im Messwertprotokoll wie folgt aus:

		GEOLOGIK SOFTWARE		Pumpversuch - M...
				Projekt:
				Projekt-Nr:
				Auftraggeber:
Ort:		Pumpversuch: Pumpversuch 1		
Durchgeführt von:		Versuchsdatum: 28.11.2017		
Beobachtungsbrunnen: Brunnen 1		Ruhewasser [m]: 0,00		
Pumpentyp: DX-3				
	Zeit [s]	Wasserspiegel [m]	Absenkung [m]	
1	10	1,00	1,00	
2	100	2,00	2,00	
3	1000	3,00	3,00	

Bei der Verwendung benutzerdefinierter Felder sollten Sie bedenken, dass es sich dabei um Programmeinstellungen handelt. So wird der Eintrag in dem Feld zusammen mit der Hydro Tec-Datei abgespeichert; ob, wo und in welcher Form er bei einem anderen Hydro Tec-Nutzer erscheint hängt aber von dessen Programmeinstellungen ab.

Feldvariablen

Es stehen die folgenden Variablen zur Verfügung:

<FILENAME> gibt den Dateinamen aus.

<FILEPATH> gibt den Dateinamen zusammen mit dem vollständigen Pfad aus.

Möchten Sie beispielsweise in den Auswertungen - und nur dort - den Dateinamen mit anzeigen, richten Sie wie oben beschrieben das Feld ein. Beschriften Sie es sinnvollerweise mit "Dateiname". In den einzelnen Auswertungen müssen Sie dann <FILENAME> in dieses Feld eingeben. Beim Ausdruck wird dies dann durch den aktuellen Dateinamen ersetzt.

1.4.6 Surfer Script

Auf dieser Seite werden die Einstellungen für die Surfer-Automation vorgenommen. Mit dem Script wird das Programm Surfer von Golden Software sozusagen "ferngesteuert". Es kann ein Isolinenplan oder eine 3-D Darstellung der Grundwasseroberfläche mit nur einem Klick erstellt werden.

Die Funktion erfordert eine installierte Version von Surfer. Sie wurde mit Surfer V. 15.0.263 entwickelt und getestet. Da wir keinen Einfluss auf die Programmentwicklung von Surfer haben kann nicht gewährleistet werden das sie mit anderen Versionen funktioniert.

Surfer Script Konfiguration

Schaltfläche anzeigen

Scripter-Anwendung

Interpolationsmethode

Erstellen von

Zeitstempel an Dateinamen anhängen

Farbverlauf im Isolinenplan

Achsen beschriften

Benutzerdefiniertes Script

Dateiname Script

Schaltfläche anzeigen: Wählen Sie dies aus damit auf der Seite **Lageplan** die Schaltfläche **an Surfer senden** angezeigt wird. Dies ist erforderlich, da das Script sonst nicht aufgerufen werden kann.

Scripter-Anwendung: Geben Sie hier den Pfad- und Dateinamen zum Programm Scripter an. Dieses wird zusammen mit Surfer installiert und befindet sich im dortigen Programmverzeichnis, z.B. "C:\Program Files\Golden Software\Surfer 15\Scripter.exe".

Interpolationsmethode: Aus der Datendatei mit den x,y,z-Werten erstellt Surfer ein Gitter (Grid file). Wählen Sie hier, welche Methode dafür verwendet wird. Zur Auswahl stehen **Triangulation mit linearer Interpolation** und **Kriging**.

Erstellen von: Hier erfolgt die Auswahl Kartentyps. Wählen Sie zwischen **Isolinenplan**, **3D Gitter** und **3D Oberfläche**.

Zeitstempel an Dateinamen anhängen: An die Daten- und die Gitterdateinamen werden Datum- und Zeitinformation gehängt um eine eindeutige Datei zu erstellen. Ist die Option nicht markiert, werden bestehende Dateien beim Ausführen des Scripts überschrieben.

Zu den Dateinamen:

Die von Hydro Tec erstellte Datendatei ist eine Textdatei, Dateierweiterung TXT. Der Dateiname entspricht dem Dateinamen der Hydro Tec-Datei, nur die Dateierweiterung unterscheidet sich. Wird das Script ausgeführt ohne dass das Hydro Tec-Projekt abgespeichert war wird ein interner Dateiname vergeben.

Die Grid-Datei (Dateierweiterung GRD) heißt genauso wie die Datendatei.

Farbverlauf im Isolinienplan: Dies entspricht im Surfer den Optionen **Fill contours** mit den **Fill colors**-Schema **Geology2**. Je nach Surfer-Version ist dieses Farbschema nicht mehr vorhanden. In diesem Fall bekommen Sie eine Fehlermeldung vom Surfer-Scripter. Entfernen Sie dann diese Markierung und wählen das Farbschema in Surfer selbst aus.

Achsen beschriften: Die untere und die linke Achse werden mit "x" bzw. "y" sowie der aktuellen Maßeinheit beschriftet. In den 3D-Darstellungen wird zusätzlich die z-Achse beschriftet, je nach Darstellung in Hydro Tec entweder mit "Absenkung" oder mit "Hydraulischer Höhe" sowie der Maßeinheit. Im Isolinienplan wird an die Beschriftung der Isolinien die Maßeinheit als Suffix angehängt.

Benutzerdefiniertes Script: Wählen Sie diese Option wenn Sie ihr eigenes Script ausführen möchten. Im darunterliegenden Feld geben Sie dann den Pfad- und Dateinamen zum Script an. Die von Hydro Tec verwendete Aufrufkonvention lautet:

Scripter-Anwendung -x Benutzerdefiniertes-Script Datendatei

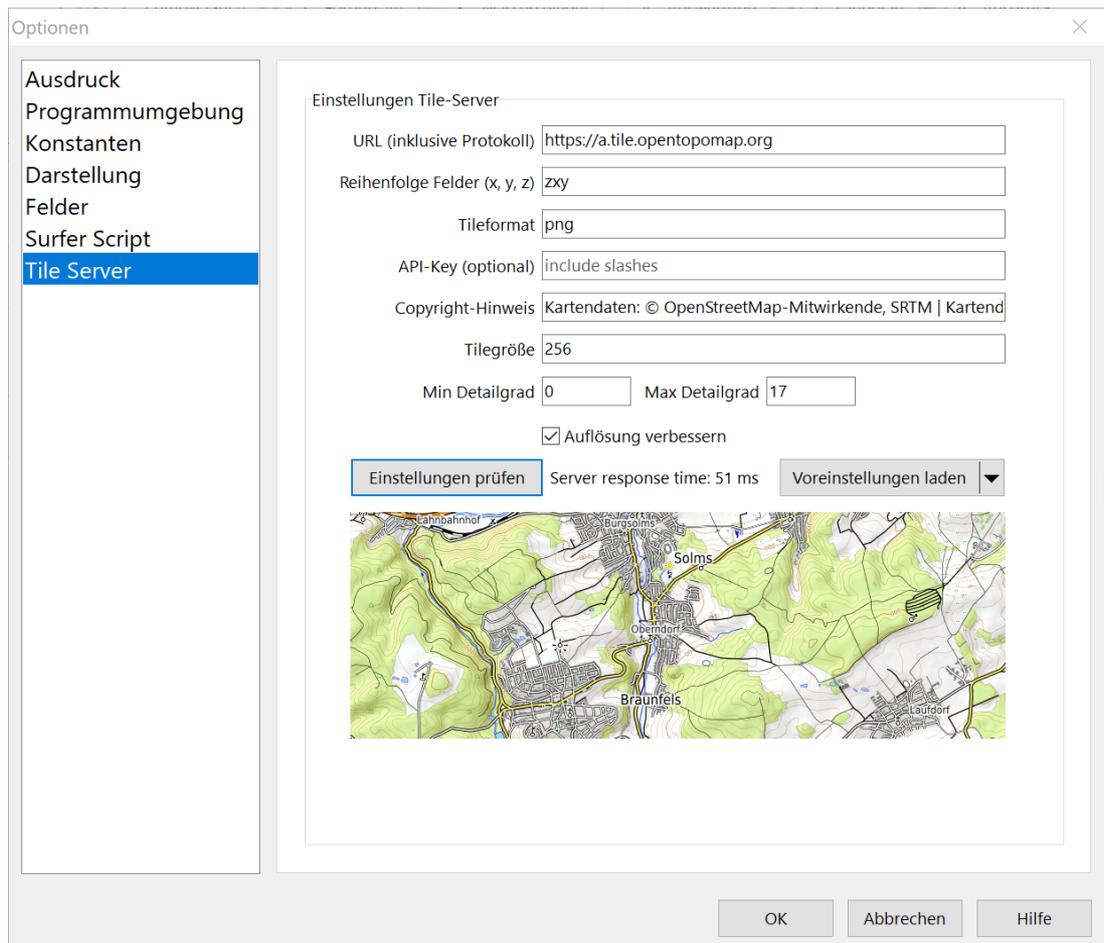
Ein Beispiel, der Übersicht halber ohne Pfadname:

Scripter.exe -x meinscript.bas projektdaten.txt

Der Parameter -x bewirkt das Scripter das Script ausführt.

1.4.7 Tile Server

Auf dieser Seite wird der Tile-Server konfiguriert der zum Download von Kartenmaterial aus dem Internet verwendet wird. Bitte beachten Sie die Nutzungsbedingungen der jeweiligen Anbieter. Es gibt eine Reihe frei verfügbarer Tile-Server, die aber je nach Nutzungsintensität den Zugriff einschränken.



URL: Geben Sie hier die Adresse des Tile-Servers inkl. dem Protokoll - also "http://" oder "https://" - ein.

Reihenfolge: Dies ist abhängig vom Tile-Server, normalerweise zxy (z steht für Zoomlevel/Detailgrad, x und y für die Kachel-Nummer).

Tileformat: Auch dies ist abhängig vom Tile-Server, Hydro Tec unterstützt gegenwärtig nur png.

API-Key: Wenn Sie einen kommerziellen Tile-Server verwenden erhalten Sie eventuell einen entsprechenden Schlüssel um den Zugriff zu authentifizieren. Hydro Tec hängt diese Eingabe an die URL an.

Copyright-Hinweis: Hier wird die Standardangabe des Copyrights für das Kartenmaterial eingetragen. Dieser kann später im Panel **Karte** bearbeitet werden.

Tilegröße: Die meisten Tile-Server liefern die quadratischen Kacheln in einer Größe von 256 Pixel aus.

Min-Detailgrad, Max-Detailgrad: Die Angabe 0 bedeute das eine Kachel die ganze Erde darstellt. Für den Max-Detailgrad konsultieren Sie die Tile-Server-Anbieter. Ein Wert von 17 ist sehr bereits detailliert. Größere Werte werden nur im Einzelfall unterstützt und verursachen große Mengen an Datenvolumen.

Auflösung verbessern: Ist die Option markiert wird das Kartenbild um den Faktor 2 hochskaliert. Dies sorgt für eine bessere Qualität im Ausdruck aber auch für größere Dateien.

Einstellungen prüfen: Es werden mit den o.g. Einstellungen 3 Tiles vom Server geladen und die durchschnittliche Antwortzeit des Tile-Servers wird angezeigt.

Voreinstellungen laden: Hiermit können fertig konfigurierte "ab Werk"-Einstellungen geladen werden.

Teil



2 Dateneingabe

Alle Eingaben verwenden Sie Maßeinheiten von der Seite **Pumpversuch**.

Maßeinheiten			
Länge (Lage)	m	Länge (Messungen)	m
Zeit	min	Förderrate	m ³ /d
Transmissivität	m ² /s	Druck	mbar
<input checked="" type="checkbox"/> Umrechnen			

Haben Sie bei der Dateneingabe versehentlich eine falsche Maßeinheit verwendet entfernen Sie das Häkchen in der Checkbox **Umrechnen** und stellen dann die Maßeinheit um. Bedenken Sie dabei aber, dass sich die Maßeinheiten auf alle Eingaben im aktuellen Versuch beziehen.

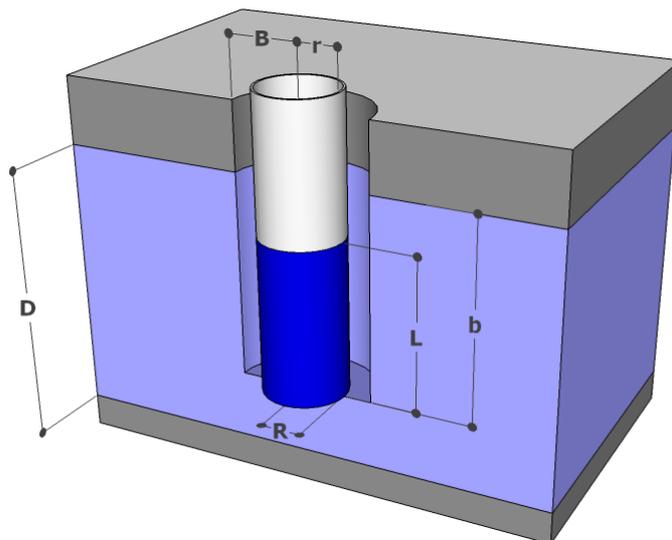
Die Vorgabemaßeinheiten (diese werden beim Anlegen neuer Versuche und Dateien verwendet) können Sie unter **Extras/Optionen** auf der Seite **Programmumgebung** einstellen.

2.1 Brunnendaten eingeben

Auf der Seite **Pumpversuch** bzw. **Slug-Test** befindet sich im unteren Bereich die Tabelle der Brunnen und Messstellen. Hier wird die Brunnenbezeichnung und die Lage eingegeben.

Die Bestimmung der Lage in x,y-Koordinaten ist obligatorisch, da sie zur Berechnung der Abstände erforderlich ist.

Weiterhin werden hier die Angaben zum Brunnenausbau vorgenommen. Dabei bedeuten:



r: Radius des Vollrohrs

L: Länge der Filterstrecke (im Aquifer)

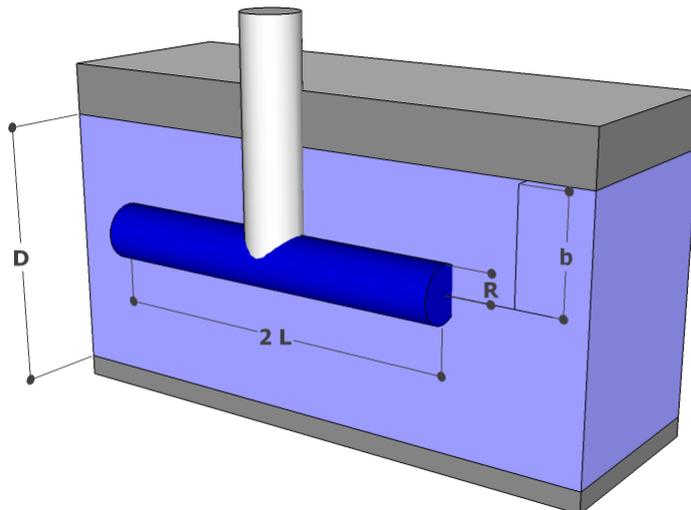
b: Abstand UK Filter – OK Aquifer

R: Radius des Filterrohrs

B: Radius der Bohrlöcher

n: Porosität des Filterkieses

Im Horizontalbrunnen ist die Definition wie folgt:



L: Länge der horizontalen Filterstrecke ab der Mitte des Brunnens

b: Abstand Mitte Filter - OK Aquifer

Richtung: Ausrichtung des Horizontalbrunnens in °; 0 ° entspricht einer N-S-Ausrichtung, 90 ° einer E-W-Ausrichtung.

Wirksamer Brunnenradius r_w

Ist die Option **r(w) verwenden** gewählt, wird der **Wirksamer Brunnenradius** (r_w) nach der Formel

$$r_w = \sqrt{R^2(1-n) + nB^2}$$

berechnet. Ist die Option nicht ausgewählt, sind die Eingaben von **B** und **n** ohne Belang.

Die Angaben zum Brunnenausbau werden bei der Auswertung mit bestimmten Modellannahmen, insbesondere unvollkommener Brunnenausbau, benötigt und berücksichtigt.

Um es nochmals ganz klar herauszustellen: Die Eingabe der Brunnengeometrie in der Tabelle bedeutet nicht, dass diese Angabe auch bei der Auswertung berücksichtigt wird.

Alle Brunnen stehen im gesamten Projekt, d.h. innerhalb der Datei für mehrere Pumpversuche/Slug-Tests zur Verfügung. Die in der Spalte **Brunnenfunktion** angegebene Einstellung bezieht sich jedoch nur auf den aktuellen Pumpversuch.

Die Maßeinheit **Länge(Lage)** ist bestimmend für die Angaben x, y und beiden Höhenangaben (NN und Festpunkt), die Ausbaugeometrie (r, L, etc.) verwendet die **Länge (Messungen)**.

Die Option **Umrechnen** gibt an, ob bereits getroffene Eingaben in die neue Maßeinheit umgerechnet werden sollen. Sie sollte normalerweise aktiviert sein, nur wenn z.B. bereits Messwerte in einer falschen Maßeinheit eingegeben wurden, kann ein Umstellen der Maßeinheit ohne Umzurechnen nützlich sein.

Wenn Sie einen neuen Brunnen anlegen wird dieser automatisch als Beobachtungsbrunnen des aktuellen Pumpversuchs ausgewählt.

Brunnen löschen

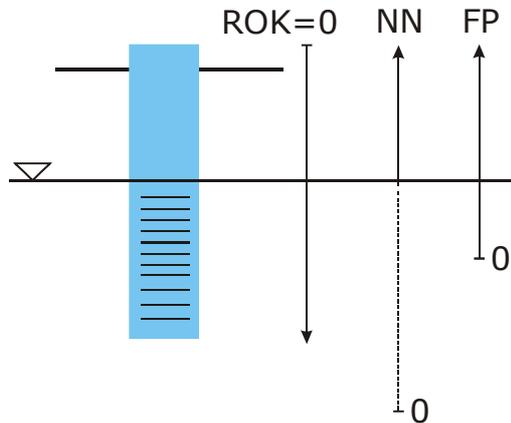
Um einen Brunnen zu löschen klicken sie in dessen Zeile und wählen **Bearbeiten/Löschen** aus dem Hauptmenü, **Löschen** aus dem Kontextmenü oder drücken ENTF auf der Tastatur.

Um die Tabelle mit den Brunnenangaben als Text in die Zwischenablage zu kopieren markieren Sie mit der Maus die gewünschten Brunnen in der 1. Spalte und wählen **Bearbeiten/Kopieren** aus dem Menü.

2.1.1 Koordinatensystem/Höhenbezugssystem

Hydro Tec verwendet 3 unterschiedliche Höhenbezugssysteme:

1. Abstich und Rohroberkante (ROK), d.h. ROK=0 und positive Werte werden nach unten aufgetragen.
2. NN-Höhe: Die Höhenangaben werden auf den Meeresspiegel bezogen und positive Werte werden nach oben aufgetragen
3. Festpunkthöhe, der Ursprung befindet sich an beliebiger Position und positive Werte werden nach oben aufgetragen



Intern verwendet das Programm nur das ROK-Höhensystem; wenn Sie beispielsweise bei der Eingabe der Wasserspiegeldaten das NN-System verwenden, werden diese Werte wie folgt errechnet:

$$WS_{NN} = \text{Brunnen}_{NN} - WS_{ROK}$$

mit

WS_{NN} : Wasserspiegel in NN

Brunnen_{NN} : Höhenangabe Rohroberkante NN

WS_{ROK} : Wasserspiegel als Abstich ROK

Da es sich bei den Wasserspiegelangaben im NN- und Festpunktsystem um errechnete Werte handelt, werden diese durch Änderungen der Brunnenhöhenangaben ebenfalls verändert.

Beispiel:

Ein Brunnen wird mit ROK=100 m NN-Höhe angelegt. Der Ruhewasserspiegel wird mit 98 m NN angegeben, eine Wasserspiegelmessung mit 95 m NN.

Zeit [s]	Wasserspiegel [m]	Absenkung [m]
1	95	3

Das Programm errechnet 3 m Absenkung. Wenn nun nach der Eingabe der Wasserspiegelwerte die Höhenangabe des Brunnen von 100 m auf 101 m verändert wird, ändern sich auch alle Wasserspiegel, d.h. aus den 95 m werden 96 m, aus dem Ruhewasserstand von 98 m werden 99 m. Die Absenkung von 3 m bleibt gleich.

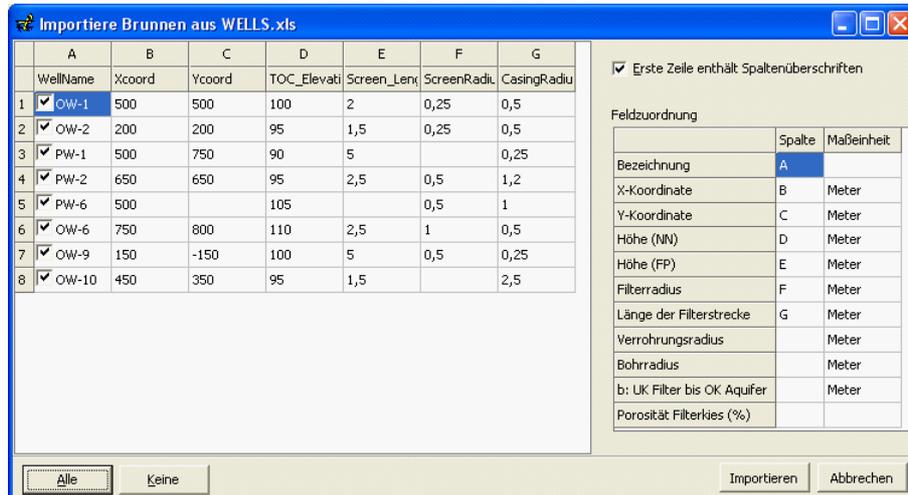
Ein untrügliches Zeichen, dass etwas mit dem verwendeten Höhenbezugssystem bzw. den Wasserspiegelmessungen nicht stimmt ist, wenn die Absenkungsbeträge negativ sind.

2.1.2 Brunnendaten importieren

Sie können Brunnen- und Ausbaudaten auch aus einer Datei importieren. Wählen Sie dazu **Datei/Import/Brunnendaten importieren**. Hydro Tec unterstützt den Import von Textdateien; sofern Microsoft Excel installiert ist können Sie auch Excel-Dateien importieren. Neu hinzukommen in der V. 5.5 ist der Import von SHP-Dateien aus GIS-Programmen.

Die Werte der Brunnen müssen zeilenweise vorliegen. Mehrseitige Arbeitsblätter in Excel-Dateien werden nicht unterstützt, es wird immer die erste Seite importiert.

Nach Auswahl der Datei öffnet sich das Fenster zur Auswahl der Brunnen und zur Zuordnung der Felder.



In Spalte A kann jeder Brunnen der importiert werden soll angekreuzt werden. Durch Auswahl der Schaltfläche **Alle** bzw. **Keine** werden entsprechend alle Brunnen bzw. keine zum Import selektiert.

Die **Feldzuordnung** erfolgt in der Tabelle rechts neben den Brunnen- und Ausbaudaten. Wählen Sie hier die Spalten für die Brunnenfelder aus sowie die Maßeinheit in der die Daten in der Datei vorliegen. Hydro Tec rechnet beim Import die Werte in die Maßeinheit des Pumpversuchs um. Bei Feldern die nicht importiert werden sollen lassen Sie einfach die Spalte leer.

Um den Importvorgang zu Starten klicken Sie auf **Importieren**.

2.2 Förderrate eingeben

Zeit-Förderrate

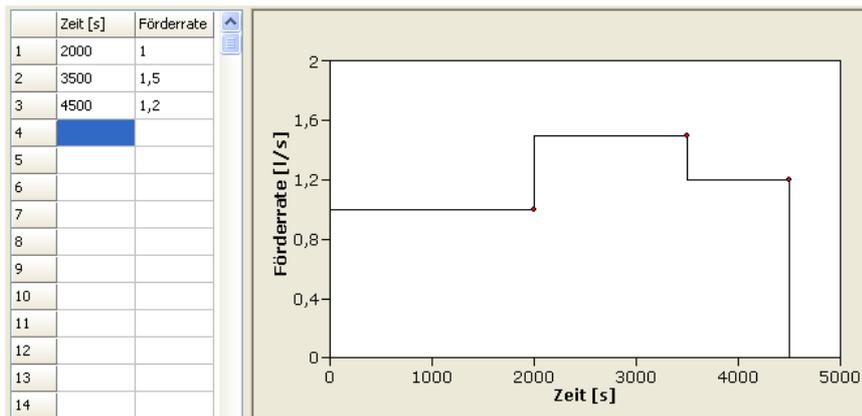
Die Förderrate wird auf der Seite **Förderrate** eingegeben. Für jeden Förderbrunnen wird entweder eine **konstante** oder eine **variable** Förderrate eingegeben.

Bei variabler Förderrate wird der jeweilige Endzeitpunkt der Pumpstufe angegeben. Per Definition beginnt der Pumpversuch bei $t=0$ mit dem Anschalten der Pumpe.

Beispiel:

Zeit [s]	Förderrate [l/s]
2000	1
3500	1,5
4500	1,2

Die obigen Eingaben entsprechen einer ersten Pumpstufe von 0 bis 2000 s mit 1 l/s, einer 2. Pumpstufe von 2000 s bis 3500 s mit 1,5 l/s und einer 3. Pumpstufe von 3500 bis 4500 s mit 1,2 l/s.

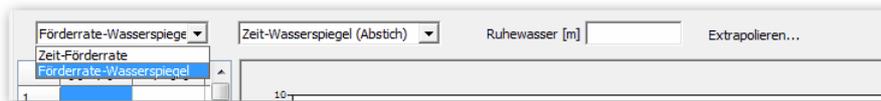


Eingaben in die Tabelle können erst vorgenommen werden, wenn die Förderrate von **konstant** auf **variabel** umgestellt wurde.

Förderrate-Wasserspiegel

Sofern für die Förderrate **variabel** gewählt wurde kann mit Hilfe der Auswahlliste oberhalb der Eingabetabelle zur Eingabe von **Förderrate-Wasserspiegel-Daten** gewechselt werden. Diese Messungen werden beim Stufenpumpversuch vorgenommen und stellen die Absenkung bzw. den Wasserspiegel im stationären Zustand bei einer bestimmten Förderrate dar.

Die Eingaben sind erforderlich, wenn Sie die spezifische Ergiebigkeit oder die Brunnenverluste ermitteln möchten.



Sobald Förderrate-Wasserspiegel ausgewählt ist erscheint rechts davon eine Auswahlliste zur Bestimmung des Koordinatensystems und ein Eingabefeld zur Eingabe des Ruhewasserstands. In der Tabelle werden dann die Förderraten und die entsprechenden Wasserspiegel eingetragen.

Sollten die einzelnen Pumpstufen nicht den stationären Zustand erreicht haben, steht mit der Schaltfläche **Extrapolieren** ein Tool zur Verfügung um aus instationären Messungen die stationäre Absenkung zu extrapolieren. Ein Beispiel finden Sie in der Übung Brunnenverluste errechnen.

2.3 Messwerte eingeben

Für jeden Förder- und Beobachtungsbrunnen können Wasserspiegelmessungen auf der gleichnamigen Seite eingegeben werden.

1 - Pumpversuch 2 - Förderrate 3 - Wasserspiegel 4 - Auswertung 5 - Lageplan 6 - Ausdruck

Brunnen 1 (Pumpbrunnen) Ruhewasserstand [m] 0

Pegel 11 b
Pegel 3 b
Pegel 6 b

Wasserspiegelmessungen... Bezugssystem Datenkorrektur... Filter Einstellungen... Suchen Zoom Verschieben

	Zeit [s]	Wasserspiegel [m]	Absenkung [m]
1	17	0,3	0,3
2	21	0,4	0,4
3	27	0,5	0,5
4	35	0,7	0,7
5	53	0,93	0,93
6	85	1,03	1,03
7	168	1,2	1,2
8	220	1,28	1,28
9	281	1,35	1,35
10	330	1,4	1,4
11	450	1,47	1,47
12	540	1,5	1,5
13	720	1,56	1,56
14	1080	1,64	1,64
15	1440	1,71	1,71
16	2100	1,79	1,79
17	3000	1,86	1,86
18	3900	1,9	1,9
19	5400	1,99	1,99
20	8300	2,07	2,07

Absenkung [m]

Zeit [s]

Wählen Sie aus der Liste (1) die gewünschte Messstelle aus. Taucht eine Messstelle nicht in der Liste auf, ist sie nicht als Pump- oder Beobachtungsbrunnen bzw. Piezometer für den aktuellen Versuch ausgewählt (s. **Brunnenfunktion** unter Brunnendaten eingeben).

Ändern Sie ggf. das **Bezugssystem** (2) und tragen Sie den **Ruhewasserstand** (3) ein.

Messwerte eintragen

In der Tabelle (4) werden nun die Wasserspiegelmessungen im gewählten Bezugssystem eingetragen. Wird die Seite **Wasserspiegelmessungen** verlassen oder wird eine andere Messstelle ausgewählt aktualisiert das Programm die Eintragungen aus der Eingabetabelle. Dabei werden alle ungültigen Messungen entfernt und die Eintragungen nach der Zeit sortiert. Neuere (frühere) Messungen können somit einfach am Ende der Tabelle angehängt werden, das Programm sortiert sie automatisch an der richtigen Stelle ein. Dies kann auch durch die Schaltfläche **Aktualisieren** veranlasst werden.

Die Messwerte erscheinen nach der Eingabe im Graphen (5). Der Graph hat 3 verschiedene Modi, die über die entsprechenden Schaltflächen (6) ausgewählt werden:

1. **Suchen**: Wird ein Datenpunkt in dem Graphen angeklickt, so springt der Cursor in der Eingabetabelle zu dem entsprechenden Wert.
2. **Zoom**: Mit gedrückter linker Maustaste kann ein Bereich aufgezoogen werden; wird das Rechteck von oben links nach unten recht ausgezogen wird vergrößert, in umgekehrter Richtung erscheint die Standardskalierung.
3. **Verschieben**: In diesem Modus werden die Datenpunkte bei gedrückter linker Maustaste verschoben.

Messwerte löschen

Sie können einzelne Messwerte löschen, indem sie z.B. die Zeilen markieren und dann ENTF auf der Tastatur drücken. Es reicht auch aus, nur die Zeit oder den Messwert zu löschen, da das Programm nur vollständige Wertepaare übernimmt.

Um alle Messwerte zu Entfernen verwenden Sie den Befehl **Alle löschen** aus dem Kontextmenü.

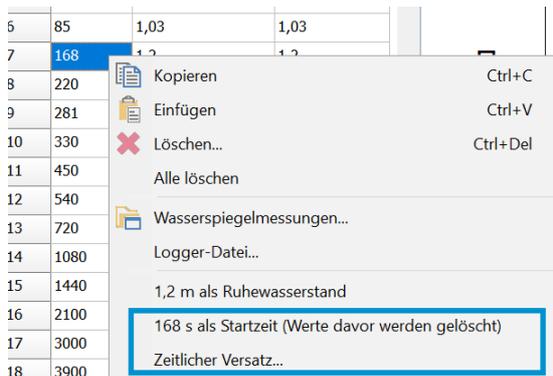
Bereiche markieren

Sie können mit Hilfe der Tastatur (UMS gedrückt halten) oder der Maus Bereiche in der Tabelle markieren und diese z.B. löschen (ENTF) oder in die Zwischenablage kopieren (STRG+C).

Um Messwerte aus der Zwischenablage Einzufügen platzieren Sie den Cursor an der gewünschten Position in der Tabelle und drücken STRG+V bzw. wählen **Einfügen** aus dem Menü **Bearbeiten** oder dem Kontextmenü.

Zeitlicher Versatz

Bekanntlich ist die Definition von $t=0$ in Hydro Tec der Pumpbeginn. Im Kontextmenü der Eingabetabelle stehen 2 Befehle zur Verfügung mit denen die Messwerte zeitlich versetzt werden können. Zum einen ist dies der Befehl **Zeitlicher Versatz**, nach dessen Aufruf ein Eingabefenster erscheint in dem der Versatz eingetragen wird. Zum andern wird der Wert der markierten Zeile direkt als Startzeit angeboten.

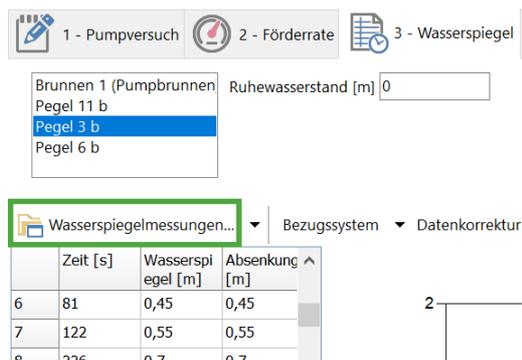


Auf diese Weise können Messwerte, insbesondere nach dem Import von Logger-Dateien, sehr einfach zeitlich korrigiert werden.

Wichtig beim Subtrahieren: Werte mit $t < 0$ werden gelöscht.

2.3.1 Messwerte importieren

Um Messwerte aus einer MS Excel-Datei oder einer Textdatei einzulesen klicken Sie auf die Schaltfläche **Wasserspiegelmessungen** oberhalb der Eingabetabelle oder wählen diesen Befehl aus dem Kontextmenü. Im folgenden Dialog selektieren Sie die gewünschte Datei und klicken auf **Öffnen**.



Hydro Tec importiert aus der Datei die ersten beiden Spalten. Bei Excel-Dateien wird immer das erste Arbeitsblatt verwendet, ggf. muss die Quelldatei entsprechend umformatiert werden.

Im Normalfall ist der Transfer von Messwerten über die Zwischenablage schneller und komfortabler.

2.3.2 Logger-Datei importieren

Sie können in alle Listen die Messwerte aus sogenannten Loggerdateien übernehmen. Dies sind Textdateien, die in jeder Zeile den Zeitpunkt und einen Messwert enthalten, z.B.

03.02.1966 06:05:21 h 15,78 m

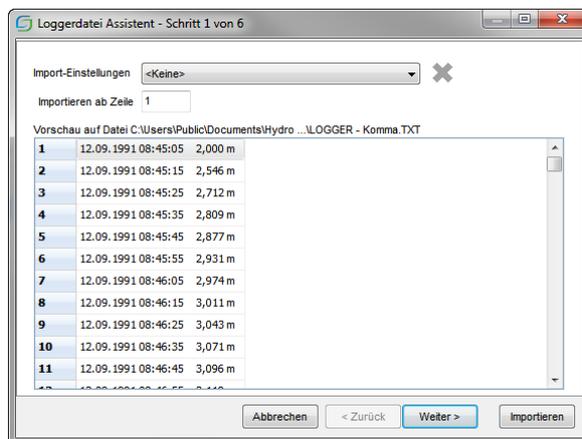
oder auch

3.2.66 6:5:21 15.78

Wenn Sie eine solche Datei einlesen, müssen Sie den genauen Zeitpunkt zu Beginn des Pumpversuchs kennen ($t=0$).

Zum Importieren von Loggerdateien klicken Sie auf den Pfeil rechts der Schaltfläche **Wasserspiegelmessungen** und wählen den entsprechenden Befehl. Die Funktion **Logger-Datei importieren** steht auch im Kontextmenü zur Verfügung.

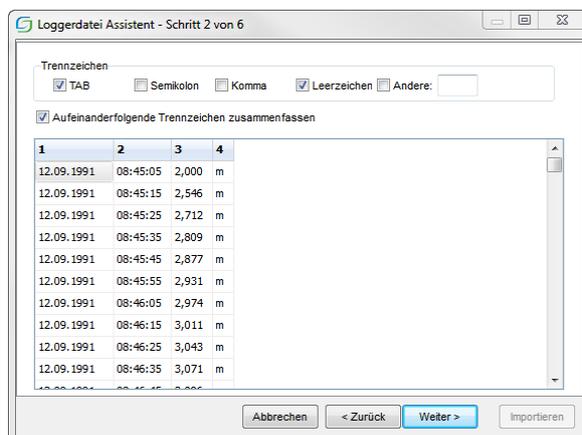
Loggerdatei Assistent Schritt 1



Sollten Sie bereits **Import-Einstellungen** abgespeichert haben (im letzten Schritt des Assistenten), können Sie diese aus der Liste auswählen. Hier finden Sie auch die Möglichkeit Import-Einstellungen zu löschen: Wählen Sie diese aus und klicken auf das Löschen-Icon rechts davon.

Im Eingabefeld **Importieren ab Zeile** bestimmen Sie den Anfangspunkt. Sie können auch einfach auf die entsprechende Zeile in der Vorschau klicken.

Loggerdatei Assistent Schritt 2

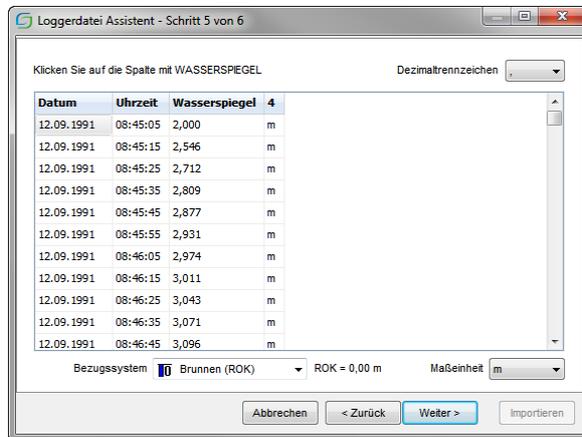


Bestimmen Sie im 2. Schritt die Trennzeichen für die Spalten.

Trennen mehrere Trennzeichen ihre Spalten gegeneinander ab, markieren sie das Kontrollkästchen **Aufeinanderfolgende Trennzeichen zusammenfassen**.

In der **Vorschau** können Sie kontrollieren ob die Aufteilung der Daten in verschiedenen Spalten korrekt erfolgt.

Loggerdatei Assistent Schritte 3 bis 5



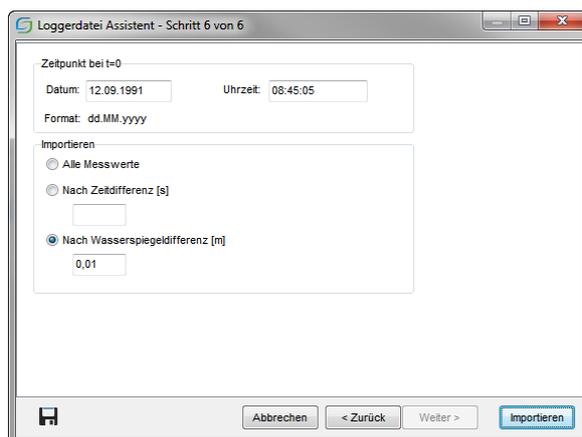
Im Schritt 3, 4 und 5 ordnen Sie den einzelnen Spalten die Messwerte zu. In Schritt 3 - Datumsspalte auswählen - kann noch das Datumsformat angegeben werden. In Schritt 5 geben Sie zusätzlich die Längen-Maßeinheit, das Dezimaltrennzeichen und das Bezugssystem der Loggerdatei an.

Sollte das konvertieren fehlschlagen erscheint ein Warnzeichen bei dem Wert:

Klicken Sie auf die Spalte mit WASSERSPIEGEL

Datum	Uhrzeit	Wass	4
12.09.1991	08:45:05	2,00	m
12.09.1991	08:45:15	2,54	m
12.09.1991	08:45:25	2,71	m

Loggerdatei Assistent Schritt 6



Im Eingabefeld **Zeitpunkt** setzt Hydro Tec automatisch Datum und Uhrzeit des ersten Messwertes der Logger-Datei ein. Wollen Sie einen anderen Startpunkt definieren, so ändern Sie die Eingabefelder entsprechend.

Durch Anklicken des Speichern-Icons unten links können Sie die Importeinstellungen abspeichern, um Sie später für ähnliche Loggerdateien zu verwenden. Alle abgespeicherten Importeinstellungen tauchen in der Dropzone auf.

Filteroptionen festlegen

Unter **Importieren** können sie verschiedene Importfilter für das Einlesen von Messwerten bestimmen. Ist die Option **Alle Messwerte** aktiviert, so werden alle Werte der Datei importiert. Sie können die Anzahl der Messwerte bereits beim Importvorgang erheblich reduzieren oder die Messwerte erst später filtern (s. dazu Anzahl der Messwerte reduzieren).

Datenlogger produzieren u.U. eine Unzahl identischer Messwerte ohne jegliche Aussagekraft, wenn sie mit konstanten Zeitintervallen arbeiten. Gerade bei Pumpversuchen nutzt es wenig, wenn Sie nach entsprechender Pumpdauer alle 10 Sekunden einen Messwert erfassen.

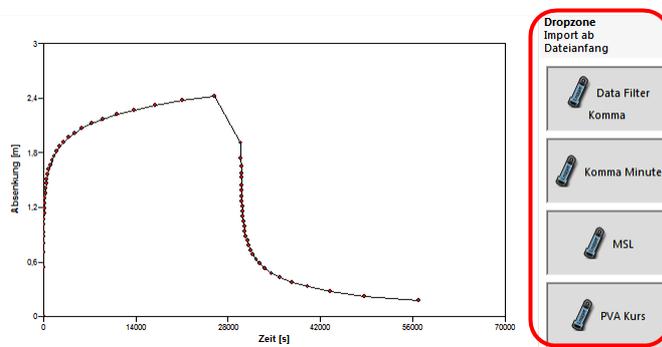
Hydro Tec bietet Ihnen zwei Filterfunktionen: Sie können den nächsten Datenpunkt entweder nach einem bestimmten Zeitintervall (Zeitdifferenzen) übernehmen oder nach entsprechender Abweichung der Messwerte (Wasserspiegeldifferenz). Für hydrogeologische Anwendungen empfiehlt sich die zweite Methode. So können Sie z. B. bei einer Wasserspiegelländerungen von 2 cm einen Messwert übernehmen lassen.

Wollen Sie Messwerte nur in einem festen Zeitintervall von Minuten oder Stunde einlesen, so tragen Sie im Eingabefeld **Nach Zeitdifferenz** das gewünschte Zeitintervall in Sekunden ein, z.B. 60 für eine Minute oder 3600 für eine Stunde. So werden nur Messwerte eingelesen, die mindestens 60 s oder 3600 s voneinander haben. Wollen Sie die Messwerte nach ihrer Abweichung, also Anstieg oder Abfall um einen bestimmten Betrag, einlesen lassen, so tragen Sie im Textfeld **Nach Wasserspiegeldifferenz** den gewünschten Betrag ein.

Sie beenden den Vorgang, indem Sie auf die Schaltfläche **Importieren** klicken. Der Loggerdatei Assistent wird geschlossen und Hydro Tec beginnt nun die Datei nach den ausgewählten Kriterien zu Importieren.

2.3.3 Dropzone verwenden

Die **Dropzone** ist ein Bereich auf der Seite **Wasserspiegel** in dem eine Loggerdatei zum Importieren abgelegt werden kann. Im Menü **Ansicht** kann die Dropzone ein- oder ausgeblendet werden.

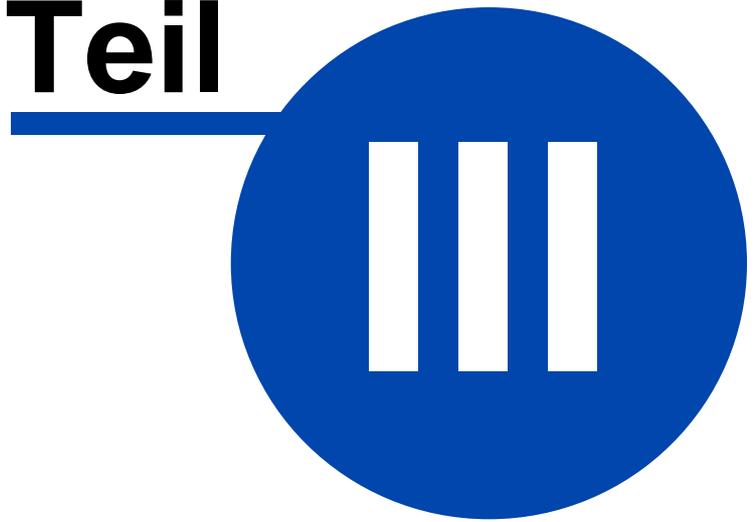


Für jede Einstellung einer Loggerdatei, d.h. die Angaben welche Spalten welche Information enthalten, welche Trennzeichen verwendet werden usw., wird vom Programm ein Feld in der Dropzone angelegt. Im obigem Screenshot sind es 4 verschiedene Einstellungen. Neue Einstellungen werden vom Programm automatisch hinzugefügt wenn im Schritt 6 des Loggerdatei-Assistent auf Speichern geklickt wird. Bestehende Einstellungen können im Schritt 1 des Loggerdatei-Assistenten gelöscht werden.

Der Import beginnt entweder am Dateianfang (dann wird der erste Messwerte als Versuchsbeginn interpretiert) oder mit dem ersten Messwert nach dem Versuchsbeginn. Die aktuelle Auswahl wird in der Dropzone angezeigt und kann unter **Extras/Optionen** auf der Seite **Darstellung** geändert werden.

Der Versuchsbeginn wird auf Seite **1 - Pumpversuch** angegeben.

Teil

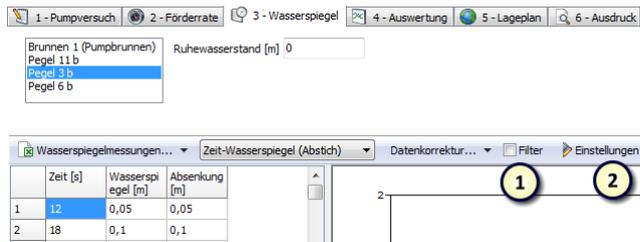


3 Datenaufbereitung

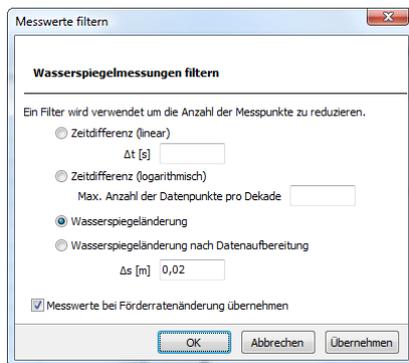
3.1 Anzahl der Messwerte reduzieren

Hydro Tec verfügt über eine leistungsfähige Filterfunktion zur Reduzierung der Messwerte. Insbesondere Logger sammeln u.U. eine große Menge an Wasserspiegelmessungen, ohne dass diese hydrogeologisch relevant sind. Mit dem Filter wird die Anzahl der Messwerte die in der Auswertung verwendet werden reduziert, und somit steigt die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Hydro Tec deutlich.

Um den Filter zu setzen markieren Sie die gleichnamige Checkbox (1) oberhalb der Eingabetabelle.



Um den Filtereinstellungen vorzunehmen klicken Sie auf die Schaltfläche **Einstellungen** (2) neben der Checkbox.



Hydro Tec unterstützt 4 unterschiedliche Filtermethoden:

1. **Zeitdifferenz (linear)**, die Messwerte werden nach Δt gefiltert. Dabei werden nur Messwerte übernommen, die mindestens um den Betrag Δt nach dem vorherigen Messwert liegen.
2. **Zeitdifferenz (logarithmisch)**, hier wird die maximale Anzahl der gewünschten Datenpunkte pro logarithmischer Dekade angegeben.
3. **Wasserspiegeländerung**, die Messwerte werden nach Δs gefiltert. Dabei werden nur Messwerte übernommen, deren Wasserspiegel mindestens um den Betrag Δs vom vorherigen Messwert verschieden ist.
4. **Wasserspiegeländerung nach Datenaufbereitung**, ähnlich wie 2. Der Unterschied besteht darin, dass Hydro Tec zuerst die Datenkorrekturen für alle Messwerte vornimmt und die korrigierte Absenkung berechnet, und erst danach den Filter auf diese anwendet. Der Vorteil liegt darin, dass Wasserspiegeländerungen, verursacht beispielsweise durch Luftdruckschwankungen, nicht zu einer Erhöhung der Messpunktanzahl führen. Diese Methode ist die rechenintensivste.

Die Option **Messwerte bei Förderratenänderung übernehmen** stellt sicher, dass das Programm unabhängig von den Filtereinstellungen auf jeden Fall den Wasserspiegel bei einer Änderung der Förderrate übernimmt. Bei der logarithmischen Zeitdifferenz sorgt die Option dafür, dass die Filterung zum Zeitpunkt einer Förderratenänderung neu beginnt.

Beispiel: Filter Wasserspiegeländerung $\Delta s=0,02$ m, Förderrate ändert sich bei 5200 s

Zeit [s]	Wasserspiegel [m]
----------	-------------------

5000	3,50
5200	3,51
5300	2,90

Ohne die Option würde der Wasserspiegel bei 5.200 s verschwinden, was den Verlauf der Ganglinie verfälschen würde. Mit der Option wird der Wert verwendet, obwohl er nur 0,01 m Unterschied zum Vorherigen aufweist.

3.2 Trendbereinigung

Oftmals unterliegt der Wasserspiegel in einem Aquifer einem lokalem Trend. Mit Hydro Tec können Sie den Trendkoeffizienten berechnen und auf Signifikanz prüfen.

Bekannter Trend

Sollte der Trendkoeffizient bereits bekannt sein, verwenden Sie eine einfache lineare zeitabhängige Korrektur (s. **Weitere Datenkorrekturen**).

Unbekannten Trend berechnen

Der Trend kann anhand von Zeit-Wasserspiegelmessung bestimmt werden, die vor, während oder nach dem Pumpversuch erhoben wurden. Für Messungen während des Pumpversuchs darf die Messstelle selbstverständlich nicht vom Pumpversuch beeinflusst werden.

Hydro Tec errechnet die einfache lineare Regression der Messwerte und führt einen t-Test zur Signifikanzanalyse durch.

Die allgemeine Formel zur Trendberechnung ist ein Polynom und eine Funktion der Zeit t:

$$XT(t) = \sum_{k=0}^m b_k t^k$$

mit

$$k = 0, 1, 2, \dots, m$$

Für hydrogeologische Beobachtung wird normalerweise nur der lineare Teil der Formel verwendet (Trend 1. Ordnung):

$$XT(t) = b_0 + b_1 t$$

Zur Berechnung von b_0 und b_1 wird eine Regressionsanalyse durchgeführt.

Signifikanztest

Um den Trend auf statistische Signifikanz zu untersuchen wird ein t-Test (Student-Test) durchgeführt. Dazu wird zuerst der Pearson-Korrelationskoeffizient r berechnet, der wie folgt definiert ist:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

Dieser Wert r wird dann mit einem „kritischen Wert“ verglichen. Diese „kritischen Werte“ werden i.d.R. Tabellenwerken entnommen, Hydro Tec berechnet ihn jedoch direkt. Dazu wird das Quantil des t-Test $t_{\alpha,DF}$ ermittelt. Die beiden dazu notwendigen Parameter sind:

α : Vertrauensbereich

DF: Freiheitsgrade, n-2 (n = Anzahl der Datenpunkte)

Der Vertrauensbereich α kann in Hydro Tec unter Extras/Optionen auf der Seite Konstanten eingestellt werde. Der Vorgabewert ist 95%.

Der "kritische Wert" $r_{\alpha,DF}$ wird nach der Formel von SACHS (1974) errechnet:

$$r_{\alpha,DF} = \frac{t_{\alpha,DF}}{\sqrt{t_{\alpha,DF}^2 + n - 2}}$$

Ist der Betrag des Pearson Korrelationskoeffizienten r größer als der "kritische Wert" $r_{\alpha,DF}$ ist der Trend signifikant, andernfalls ist der Trend nicht signifikant.

3.3 Luftdruckkorrektur

Eine Luftdruckkorrektur ist nur beim gespannten Aquifer angebracht, beim freien Aquifer hat der Luftdruck keine Auswirkung auf den Wasserspiegel.

Steigt der Luftdruck in der Atmosphäre an, sinkt der Wasserspiegel im Brunnen. Umgekehrt steigt der Wasserspiegel an, wenn der Luftdruck sinkt. Für einen Pumpversuch bedeutet dies, dass die beobachtete Absenkung s_b sich zusammensetzt aus der Absenkung verursacht durch das Pumpen s_p sowie einer Wasserspiegeländerung verursacht durch die Luftdruckänderung Δh . Ist der Luftdruck seit Beginn des Pumpversuchs angestiegen, führt dies zu einer zusätzlichen Absenkung, d.h. Δh ist positiv. Ist der Luftdruck gefallen wird ein Teil der Absenkung s_p durch den Luftdruck kompensiert und die beobachtete Absenkung ist kleiner, Δh folglich negativ.

$$s_b = s_p + \Delta h$$

Maßgeblich für die Auswertung ist s_p .

Der barometrische Koeffizient BE (auch *barometrische Arbeitsleistung* genannt, ich persönlich finde *barometrischer Wirkungsgrad* am Zutreffensten) ist der Quotient von Wasserspiegeländerung zur Luftdruckänderung. Er liegt i.d.R. zwischen 0,2 und 0,75.

$$BE = \frac{\Delta h \cdot \gamma}{\Delta p}$$

mit

Δh = Wasserspiegeländerung [m]

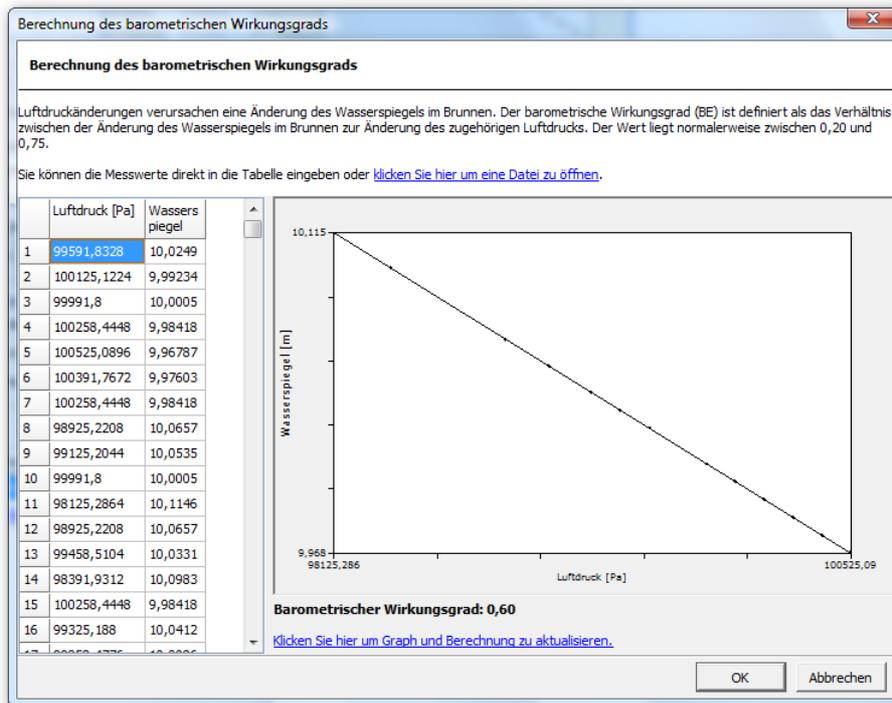
Δp = Luftdruckänderung [Pa = N/m²]

γ = Spez. Gewicht des Wassers [N/m³]

BE errechnen

Ist der Wert von **BE** bekannt, kann er einfach in das entsprechend Eingabefeld BE auf der Seite **Pumpversuch** eingetragen werden. Muss er errechnet werden, sind zur Ermittlung Ganglinien von Luftdruck und Wasserspiegel heranzuziehen. Um das Berechnungstool von Hydro Tec aufzurufen klicken Sie auf die kleine Schaltfläche rechts des BE-Eingabefelds.

Daraufhin zeigt das Programm ein Fenster zur Eingabe von Luftdruck und Wasserspiegel.



Um die Wasserspiegeländerung im Aquifer aufgrund schwankenden Luftdrucks zu berechnen wird die vorgenannte Formel einfach umgestellt:

$$\Delta h = \frac{BE \Delta p}{\gamma}$$

Das spezifische Gewicht des Wassers γ wird durch Multiplikation der Erdbeschleunigung g und der Dichte des Wassers ρ berechnet. Diese können in Hydro Tec unter Extras/Optionen auf der Seite Konstanten verändert werden. Die Standardwerte sind $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$, daraus ergibt sich $\gamma = 9807,057 \text{ N/m}^3$.

Für den Einsatz in Pol- oder Äquatornähe bzw. für thermale Wässer können die Werte entsprechend geändert werden.

Luftdruckmessungen eingeben

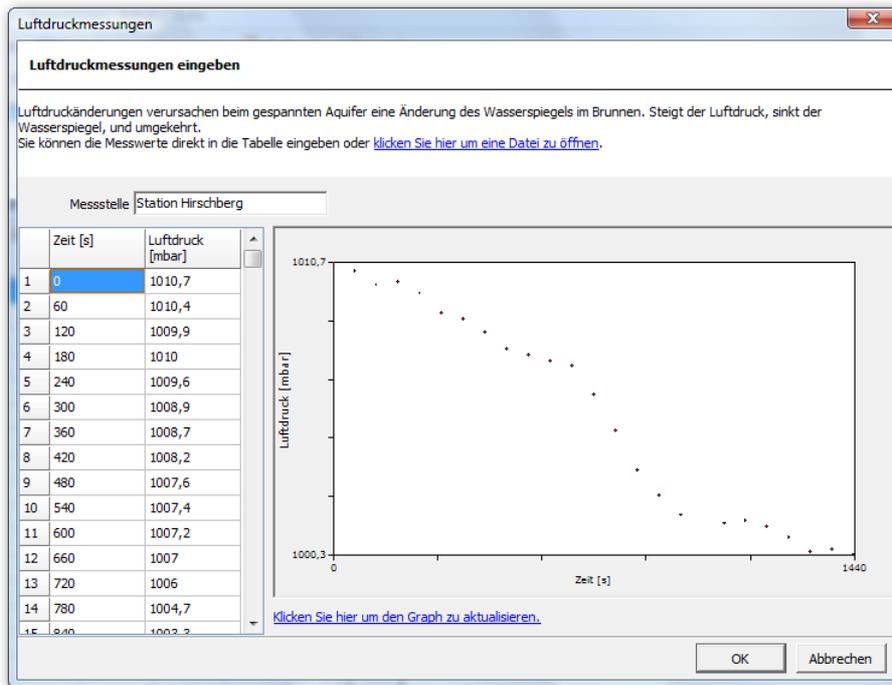
Um das Fenster zur Eingabe der während des Pumpversuchs vorgenommenen Luftdruckmessung aufzurufen wählen Sie **Luftdruckkorrektur** aus dem Menü **Versuch** oder unterhalb der Schaltfläche **Datenkorrektur**.

Importieren... Zeit-Wasserspiegel (Abstid) Datenkorrektur... Filter

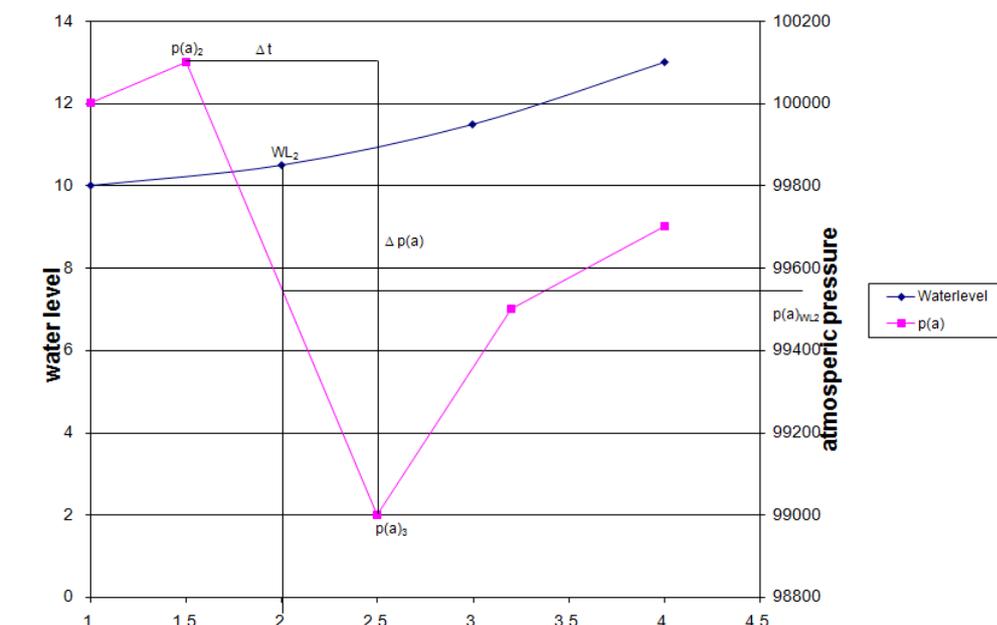
	Zeit [s]	Wasserspiegel [m]	Absenkung [m]
1			

Trendbereinigung...
Luftdruckkorrektur...

Im Fenster **Luftdruckmessungen** können Sie dann entweder direkt die Werte in die Tabelle eingeben, oder auch eine Text oder Excel-Datei mit den Messwerten öffnen. Im Falle einer Excel-Datei müssen die Werte sich in den ersten beiden Spalten des ersten Tabellenblatts befinden.



Da nicht notwendigerweise zu jedem Zeitpunkt an dem eine Wasserspiegelmessung vorhanden ist auch eine Luftdruckmessung existiert, verwendet Hydro Tec lineare Interpolation zwischen den einzelnen Messpunkten.



Die obige Abbildung zeigt wie das Programm den Luftdruck $p(a)$ für den Zeitpunkt WL_2 bei $t=2$ interpoliert, an dem keine Luftdruckmessung $p(a)$ vorliegt.

Das Programm verwendet die Werte $p(a)_2$ und $p(a)_3$ zur linearen Interpolation und erstellt eine Gleichung der Form $y = mx + b$.

$$m = \frac{\Delta p(a)}{\Delta t} = \frac{p(a)_3 - p(a)_2}{t_{p(a)3} - t_{p(a)2}} = \frac{99000 - 100100}{2.5 - 1.5} = \frac{-1100}{1} = -1100$$

$$b = y - mx = 100100 - (-1100 \cdot 1.5) = 100100 + 1650 = 101750$$

Sobald die Koeffizienten m und b berechnet sind wird der Wert $t=2$ eingesetzt und das Ergebnis $p(a)_{WL2}$ zur Berechnung von Δh_p verwendet:

$$p(a)_{t=2} = -1100 \cdot 2 + 101750 = 99550$$

Luftdruckkorrektur löschen

Um die Luftdruckkorrektur zu Entfernen gehen Sie genauso vor wie bei den anderen Datenkorrekturen: Klicken Sie mit der Maus im Datenbereich der Tabelle in die entsprechende Spalte, klicken die rechte Maustaste und wählen **Datenkorrektur löschen** aus dem Kontextmenü.

	Zeit [s]	Wasserspiegel [m]	Absenkung [m]	Luftdruckkorrektur [m]	Korrigierte Absenkung [m]
1	17	0,3	0,3	0,0004	n. 3004
2	21	0,4	0,4	0,0005	
3	27	0,5	0,5	0,0007	
4	35	0,7	0,7	0,0009	
5	53	0,93	0,93	0,0014	
6	85	1,03	1,03	0,0026	
7	168	1,2	1,2	0,0037	
8	220	1,28	1,28	0,0049	

3.4 Weitere Datenkorrekturen

Das Programm bietet die Möglichkeit, weitere benutzerdefinierte Datenkorrekturen vorzunehmen. Klicken Sie dazu auf die Schaltfläche **Datenkorrektur** oberhalb der Messwerttabelle und es erscheint das Fenster **Messwertkorrektur**.

Korrekturformel auswählen

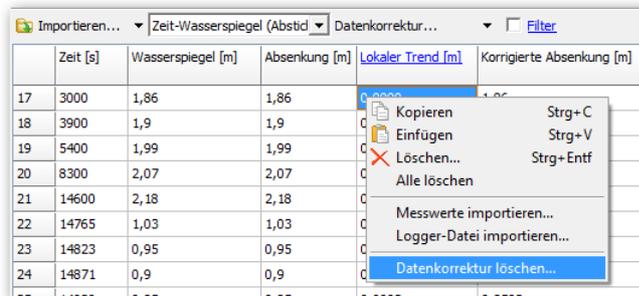
Hier kann unter **Name** ein beschreibender Text eingegeben werden. Unter **Formelvorlage** stehen 4 verschiedene Typen zur Auswahl:

1. $\Delta s = A$
2. $\Delta s = A \cdot t$
3. $\Delta s = A \cdot \log_{10}(B + C \cdot t)$
4. $\Delta s = A \cdot (\sin[B + C \cdot t])^p$

Je nach gewählter Formel werden die Eingabefelder für die **Koeffizienten A – D** angezeigt.

Der **Anwendungsbereich** gibt an, ob die Korrektur nur für die aktuelle Messstelle oder für alle Messstellen im Versuch gilt. So wirkt sich ein lokaler Trend z.B. meist auf alle Brunnen aus, während andererseits eine periodische Korrektur des Tideneinflusses mit der Entfernung vom Meer zusammenhängt und folglich für jede Messstelle separat vorgenommen werden muss.

Wenn das Fenster **Messwertkorrektur** mit **OK** geschlossen wird erstellt das Programm in der Datentabelle eine zusätzliche Spalte mit dem Δs aus der Datenkorrektur, und, sofern noch nicht vorhanden, eine Spalte mit der **korrigierten Absenkung**, die für die Auswertungen verwendet wird.



	Zeit [s]	Wasserspiegel [m]	Absenkung [m]	Lokaler Trend [m]	Korrigierte Absenkung [m]
17	3000	1,86	1,86		
18	3900	1,9	1,9		
19	5400	1,99	1,99		
20	8300	2,07	2,07		
21	14600	2,18	2,18		
22	14765	1,03	1,03		
23	14823	0,95	0,95		
24	14871	0,9	0,9		

Um die Datenkorrektur zu bearbeiten, um z.B. die Koeffizienten zu ändern, klicken Sie auf den Spaltenkopf, der im Stile eines Links angezeigt wird. Im obigen Beispiel wäre dies der Text **lokaler Trend [m]**.

Achtung, Vorzeichen!

Beachten Sie das Vorzeichen! Das Ergebnis der Berechnung wird zur Absenkung addiert, d.h. bei positiven Werten wird die Absenkung größer, bei negativen kleiner. Haben Sie z.B. einen lokalen Trend bei dem der Wasserspiegel 1 cm/d absinkt, muss der Wert mit negativem Vorzeichen eingegeben werden. Von der beobachteten Absenkung wird dadurch der entsprechende Betrag abgezogen.

Korrektur löschen

Um eine Datenkorrektur zu Entfernen klicken Sie mit der Maus im Datenbereich der Tabelle in die entsprechende Spalte, klicken die rechte Maustaste und wählen **Datenkorrektur löschen** aus dem Kontextmenü. Dieser Befehl wird nur angezeigt, wenn sich der Cursor in der Tabelle und in einer Spalte mit Korrekturdaten befindet. Nach einer Bestätigung wird dann die Datenkorrektur gelöscht.

Teil



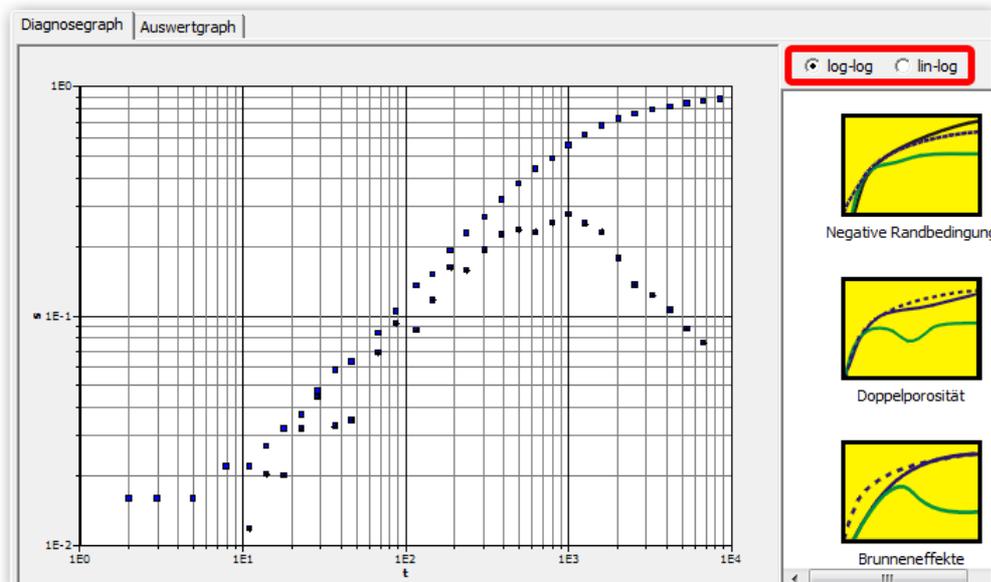
4 Auswertung

4.1 Diagnosegraph

Der Diagnose-Plot hilft beim Identifizieren des Aquifertyps. Die Zeit t wird auf der X-Achse, die Absenkung s auf der y-Achse aufgetragen.

Es stehen zwei verschiedene Darstellungen zur Verfügung:

1. Doppeltlogarithmisch
2. Halblogarithmisch, wobei die Absenkung s linear aufgetragen wird



Doppeltlogarithmische Darstellung im Diagnosegraph der Beispieldatei „Brunnenspeicherung“. Der Verlauf der Ableitung (die untere Symbolschar) deutet auf Brunneneffekte hin und zeigt, dass der Versuch besser noch andauert hätte, um die Transmissivität bestimmen zu können.

Es wird zusätzlich noch die Ableitung (Änderung der Absenkung) durch durchgekennzeichnete Symbole angezeigt. Rechts vom Graphen befindet sich ein Panel mit exemplarischen Beispielgraphen die Ihnen beim Identifizieren des Aquifertypus helfen.

Alle Diagramme basieren auf der Annahme einer konstanten Förderrate! Bei einer variablen Förderrate liefert der Diagnose-Plot keine sinnvollen Resultate.

Allerdings zeigen verschiedene Aquifertypen den gleichen qualitativen Verlauf. Der Vergleich mit den Beispieldiagrammen der unterschiedlichen Aquifertypen darf deshalb nicht losgelöst, sondern muss im Kontext mit weiteren hydrogeologischen und geologischen Informationen erfolgen.

Eine hervorragende Zusammenfassung über die Anwendung von Diagnosegraphen und den theoretischen Hintergrund findet sich in Renard et. al 2009.

Gespannter oder Freier Aquifer?

Im idealen gespannten Aquifer folgt der Absenkungsverlauf der Theis-Kurve. Nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung zeigt sich in der halblogarithmischen Darstellung eine Gerade (Cooper & Jacob Methode). Die Ableitung in der doppeltlogarithmischen Darstellung wird konstant.

Im ungespannten Aquifer mit verzögerter Porendrängung bildet sich oftmals ein s-förmiger Verlauf der Absenkungskurve (Neuman), s.u.

Leaky Aquifer und positive Randbedingung

Der Absenkungsverlauf im leaky Aquifer ist mit dem eines ernährenden Randes identisch. Nachdem er anfänglich der Theis-Funktion entspricht, erfolgt nach gewisser Zeit (abhängig z.B. vom Abstand zum Rand) ein Zustrom, so dass die Absenkung konstant wird, bzw. die Ableitung der Absenkung gegen 0 geht.

Negative Randbedingung

Bei einem undurchlässigem Rand vergrößert sich die Absenkung im Vergleich zur Theis-Funktion, sobald der Absenkungstrichter den Rand erreicht. Analytisch wird dies durch einen zusätzlichen Förderbrunnen modelliert. Nach dieser Phase, in der sich die beiden Trichter kumulieren, gleicht sich der Absenkungsverlauf wieder der Theis-Funktion an, d.h. in der doppellogarithmischen Darstellung ergibt sich eine Gerade parallel zur X-Achse.

Double porosity, ungespannte und leaky Aquifers

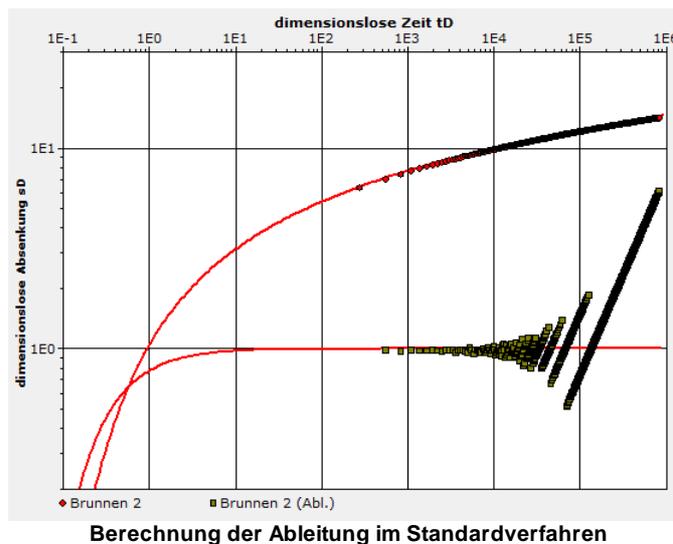
Folgt der Absenkungsverlauf dem Doppelporositätsmodell oder der Neuman'schen Vorstellung der verzögerten Porendrängung, ergibt sich ein s-förmiger Verlauf in der doppellogarithmischen Darstellung. Charakteristisch ist noch der Verlauf der Ableitung, da sich dort eine typische Sattelstruktur zeigt. Nachdem die Absenkung anfänglich der Theis-Kurve folgte wird der Anstieg der Absenkung durch beginnende Entwässerung entweder der Matrix (Doppelporositätsmodell) oder des Porenraums gebremst. Im weiteren Verlauf stellt sich aber wieder ein hydraulischer Strömungszustand gemäß der Theis –Funktion ein.

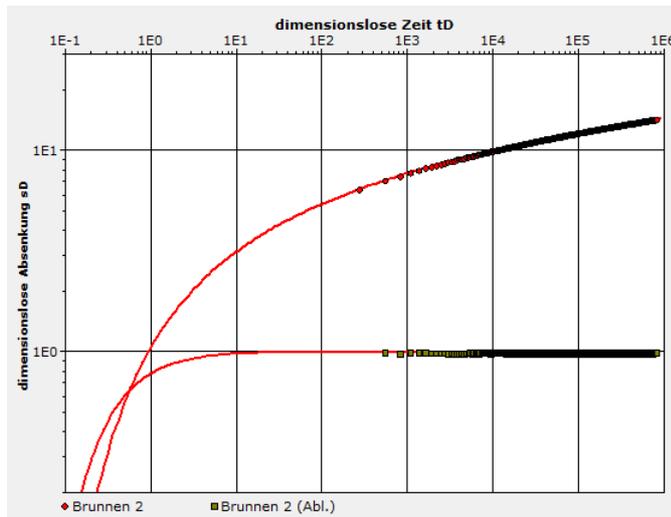
Brunneneffekte

Brunneneffekte, insbesondere die BrunnenSpeicherung, führen in der doppellogarithmischen Darstellung der Messwerte aus dem Pumpbrunnen in der Anfangsphase zu einer Geraden. Sobald die Entwässerung aus dem Aquifer selbst erfolgt geht der Verlauf in die Theis-Kurve über.

4.1.1 Ableitung glätten

Durch diskrete Messintervalle im Datenlogger kann bei der Berechnung der logarithmischen Ableitung zu numerischen Artefakten kommen, die sich in der Darstellung durch Punktscharen äußern, die häufig eine Gerade bilden. In der Abbildung unten links liegen die Werte der Ableitung (grüne Quadrate) anfangs korrekt auf der Ableitung der Typkurve, fangen aber bei ungefähr $t_D > 10^{-4}$ an zu Rauschen und bilden danach einige Pseudogeraden.





Ableitung geglättet nach BOURDET (1984), L-Spacing=0,2

In Hydro Tec sind Glättungsfunktionen nach BOURDET und SPANE & WURSTNER implementiert die es erlauben, diese Effekte zu Eliminieren und damit verlässlichere Aussagen über die Aquifercharakteristik zu treffen.

Bourdet

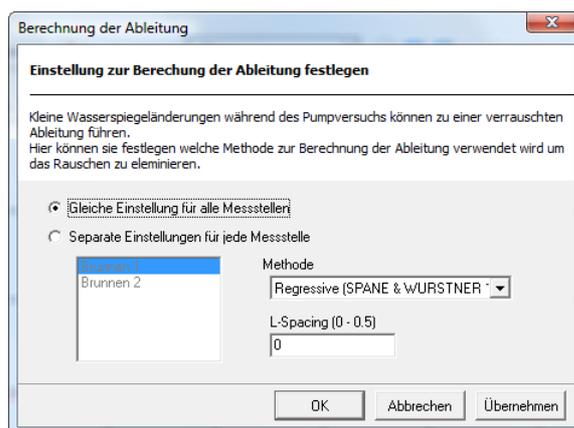
Der Wert für L-Spacing gibt an, wie weit der Punkt links bzw. rechts vom aktuellen Punkt entfernt sein müssen um zur Berechnung verwendet zu werden. Bei einem Wert von L-Spacing=0 wird der nächstliegende Punkt genommen, d.h. es findet keine Glättung statt.

Spane & Wurstner

Im Gegensatz zu Bourdet, der 3 Punkte zur Berechnung der Ableitung verwendet, werden in diesem Ansatz zwei Ausgleichsgeraden berechnet; das L-Spacing definiert auch hier den Abstand links bzw. rechts vom aktuellen Punkt. Alle innerhalb des Intervalls liegenden Punkte werden zur Berechnung der Ausgleichsgeraden herangezogen.

Anwendung im Programm

Um den Dialog zum Einstellen der Ableitung aufzurufen wählen Sie aus dem Menü **Auswertung** oder im Panel **Anzeigen von** den Befehl **Ableitung**.

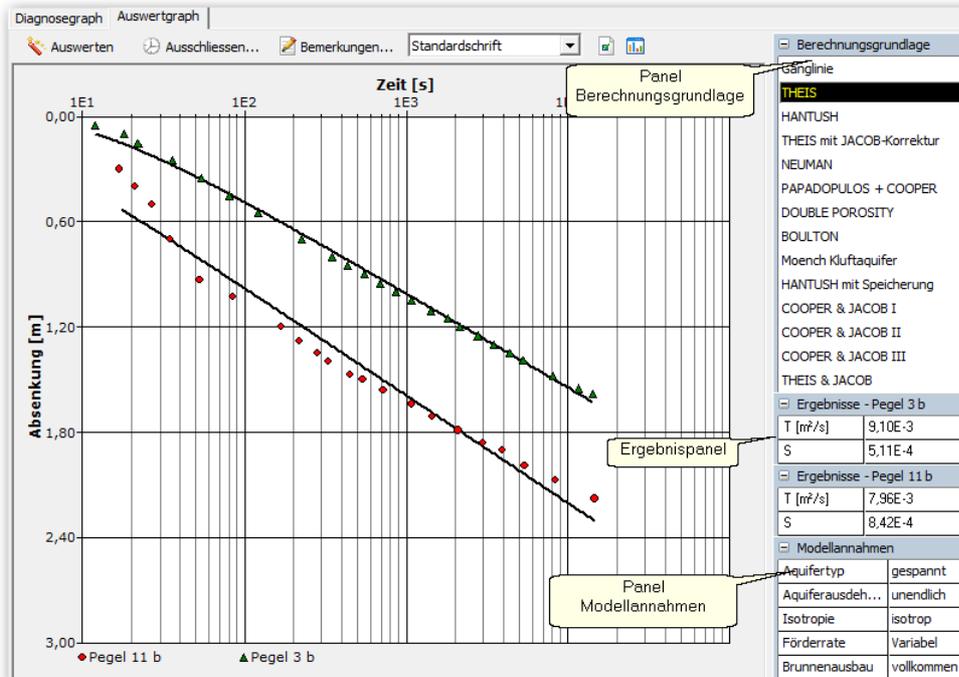


Im Dialog können die gewünschte Methode auswählen und ggf. einen Wert für das L-Spacing eingeben. Weiterhin wird festgelegt ob alle Messstellen die gleichen Einstellungen verwenden oder ob diese separat für jede eingestellt werden.

4.2 Auswertgraph

Dies ist die wichtigste Ansicht in Hydro Tec. Im **Auswertgraphen** werden die Aquiferparameter ermittelt und graphisch dargestellt. Im Graphen können die Daten linear und logarithmisch angezeigt werden. Die theoretische Absenkung errechnet das Programm automatisch und zeichnet sie ein.

Rechts neben dem Graph zeigt das Programm die **Berechnungsgrundlage** (Methode) an. Darunter befinden sich die Panel mit den Aquiferparametern für die einzelnen Meßstellen (Ergebnispanel). Dies Aquiferparameter werden numerisch angezeigt und können dort auch direkt verändert werden.



4.2.1 Arbeitsweise

Die Version 5.x von Hydro Tec ermöglicht Ihnen eine grundsätzlich verschieden Anwahl der Auswertmethode als die Vorgängerversionen! Bisher wurde die Auswertmethode von Ihnen festgelegt, und dadurch wurden die Randbedingungen impliziert. Nun steht der genau umgekehrte Ansatz zur Verfügung: Sie legen die Randbedingungen fest, und Hydro Tec wählt automatisch die passende Berechnungsmethode.

Beispielsweise war die Theis-Methode fünfmal (!) in der Version Hydro Tec 2002 Professional implementiert:

- Theis, als klassische Methode, Aquifer isotrop und unendlich ausgedehnt, konstante Förderrate
- Theis-Stufenpumpversuch (nach Birsoy & Summers), wie vor, jedoch variable Förderrate
- Theis (vorwärts), wie vor, jedoch mit Berücksichtigung unvollkommener Brunnen und mehrer Pumpbrunnen
- Stallmann/positiv, wie vor, mit ernährender Randbedingung, nur 1 Pumpbrunnen
- Stallmann/negativ, wie vor, jedoch negative Randbedingung

Die Vielzahl an Methoden führte zu Unübersichtlichkeit und Unklarheit bezüglich der Randbedingungen der einzelnen Methode. Die neue Vorgehensweise ist systematisch und dadurch leichter verständlich. Durch explizite Angabe der Randbedingungen weiß der Anwender, welche Effekte in die Berechnung einfließen.

Sie können aber auch nach wie vor im Panel **Berechnungsgrundlage** eine Methode auswählen, wobei die Modellannahmen entsprechend angepasst werden.

4.2.2 Modellannahmen festlegen

Rechts vom Auswertgraphen befindet sich ein Panel zur Bestimmung der **Modellannahmen**.

Modellannahmen	
Aquifertyp	gespannt
Aquiferausdeh...	unendlich
Isotropie	isotrop
Förderrate	Variabel
Brunnenausbau	vollkommen

Aquifertyp	gespannt ungespannt leaky <i>und in der Professional-Version noch</i> klüftig Kluftaquifer mit Skin
Aquiferausdehnung	unendlich positive Randbedingung negative Randbedingung
Isotropie	isotrop anisotrop
Förderrate	konstant variabel
Brunnenausbau	vollkommener Brunnen unvollkommener Brunnen
Speicherung in der Aquitarde	an/aus, steht beim leaky Aquifer zur Verfügung

Sobald eine andere Modellannahme getroffen wird errechnet Hydro Tec die Absenkungskurven neu. Eine erneute automatische Anpassung findet nicht statt und muss manuell veranlasst werden. Eventuell kommt ein weiterer Parameter (neben den üblichen Parametern T und S) hinzu oder ein vorhandener verschwindet. Wenn Sie z.B. den Aquifertyp von „gespannt“ auf „leaky“ ändern kommt der hydraulische Widerstand c hinzu, im umgekehrten Fall verschwindet er aus der Parameterliste.

4.2.3 Parameter einstellen

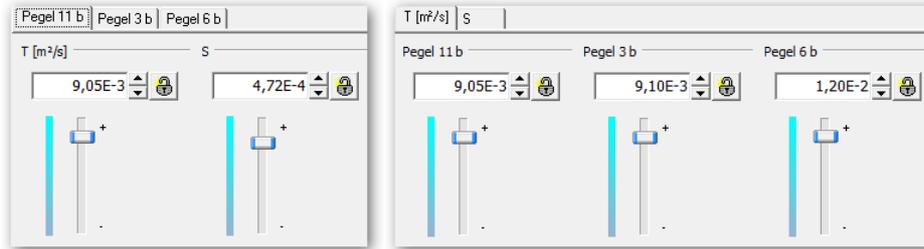
Die Aquiferparameter werden in das Ergebnis-Panel (rechts von der Auswertgrafik) eingetragen. Nach einer Änderung wird der Graph aktualisiert, sobald der Cursor das Eingabefeld verlässt.

Ergebnisse - Pegel 6 b	
T [m ² /s]	1,20E-2
S	2,29E-4

Zur manuellen Anpassung der Parameter steht, neben der Möglichkeit der direkten Eingabe im Ergebnis-Panel, ein **Parameter-Fenster** zur Verfügung. Dieses erlaubt folgende Aktionen:

- direkte Eingabe des Parameters
- Verändern des Parameters mit den Schiebereglern
- wenn der Cursor im Eingabefeld ist, kann mittels der Cursortasten hoch + runter der Parameter ebenfalls verändert werden (Division bzw. Multiplikation mit einem Faktor, dieser beträgt als Vorgabe 1,5, kann aber unter **Extras/Optionen** auf der Seite Konstanten geändert werden) .

- die Parameter können durch Anklicken der Vorhängeschloss-Schaltfläche gesperrt werden, d.h. sie werden bei einer automatischen Anpassung nicht mehr verändert.
- Wahlweise können die Parameter nach Messstelle oder nach Parametertyp gruppiert werden. Zum Umschalten zwischen den beiden Modi dient das Kontextmenü (rechte Maustaste)

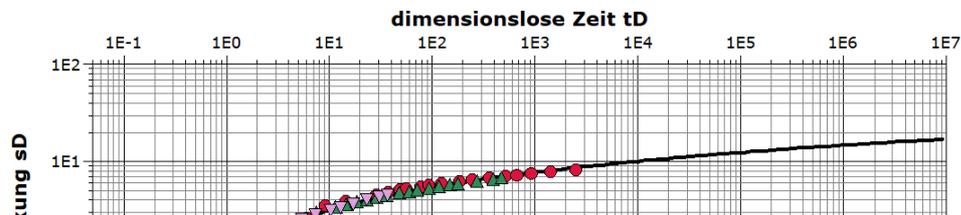
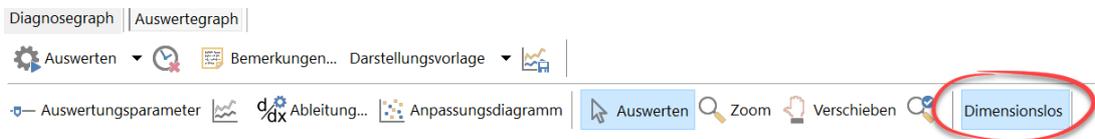


Um das Parameter-Fenster anzuzeigen klicken Sie auf die entsprechende Schaltfläche oberhalb des Auswertgraphen bzw. im Menü **Ansicht** auf **Auswertungsparameter**



4.2.4 Dimensionslose Darstellung

Hydro Tec kann eine dimensionslose Darstellung des Auswertgraphen anzeigen. Dazu darf aber nur eine konstante Förderrate und ein einzelner Pumpbrunnen existieren. Die Umschaltung erfolgt über die Schaltfläche **Dimensionslos** im Toolbar oberhalb des Auswertgraphen:



Das Programm kann beim Umschalten auf **Dimensionslos** automatisch eine Darstellungsvorlage anwenden, um beispielsweise die Achsen zu skalieren und die Achsentexte einzutragen (s. Programmumgebung). Zum Lieferumfang gehört die Vorlage **Dimensionslos**:

Beim Abschalten der dimensionslosen Darstellung erfolgt keine automatische Anwendung einer Darstellungsvorlage.

Die Darstellung erfolgt als t_D (dimensionslose Zeit) auf der Abszisse und s_D (dimensionslose Absenkung) auf der Ordinate.

Folgende Definition werden festgelegt:

$$t_D = \frac{Tt}{r^2 S}$$

$$s_D = \frac{4\pi Ts}{Q}$$

mit

T: Transmissivität

t: Zeit seit Pumpbeginn

r: radialer Abstand zum Pumpbrunnen

S: Speicherkoeffizient

s: Absenkung

Q: Förderrate

Im Falle eines Horizontalbrunnens ist t_D anders definiert, s. das Kapitel Horizontalbrunnen.

4.2.4.1 Gespannter Aquifer - Theis

Für Theis sind keine weiteren Parameter erforderlich.

4.2.4.2 Leaky Aquifer - Hantush

Für Hantush ohne Speicherung in der Aquitarde wird der dimensionslose Kurvenparameter β definiert, der die Leckage charakterisiert.

$$\beta = \frac{r}{B}$$

mit

$$B = \sqrt{Tc} = \sqrt{T \frac{D'}{K'}}$$

c: hydraulischer Widerstand [Zeit]

D': wassererfüllte Mächtigkeit der Aquitarde

K': vertikale hydraulische Durchlässigkeit der Aquitarde

Beim Modell von Hantush mit Speicherung in der Aquitarde ist die Nomenklatur etwas anders. Im Programm taucht r/B auf, was wie oben definiert ist. Der Parameter β ist jedoch wie folgt definiert:

$$\beta = \frac{r}{4} \sqrt{\frac{K'/D' \times S'}{T \times S}}$$

S' : Speicherkoeffizient in der Aquitarde

4.2.4.3 Gespannter Aquifer mit Brunnenspeicherung - Papadopulos

Für Papadopulos wird der dimensionslose Kurvenparameter C_D definiert.

$$C_D = \frac{r_c^2}{2r_w^2 S}$$

mit

r_c : Radius des Vollrohrs in dem der Wasserspiegel sich ändert

r_w : Radius des Filterrohrs

S: Speicherkoeffizient

4.2.4.4 Double Porosity Modell nach Warren & Root

Es werden dimensionslose 2 Kurvenparameter definiert, σ und Λr_D^2 , beide werden in Kapitel Kluftaquifer definiert.

4.2.4.5 Ungespannter Aquifer mit Jacob-Korrektur

Die dimensionslose Absenkung s_D wird anstatt mit s mit s' berechnet.

$$s' = s - \frac{s^2}{2D}$$

$$s_D = \frac{4\pi T s'}{Q}$$

4.2.4.6 Ungespannter Aquifer nach Boulton und Neuman

Die Berechnung erfolgt nach Moench (1996).

Es werden folgende dimensionslosen Parameter definiert:

$$\beta = \frac{K_z r_D^2}{K_r}$$

$$\sigma = \frac{S}{S_y}$$

$$\gamma = \frac{\alpha_1 D S_y}{K_z}$$

$$r_D = \frac{r}{D}$$

$$z_D = \frac{z}{D}$$

$$l_D = \frac{l}{D}$$

$$l_D = \frac{l}{D}$$

mit

K_z : vertikale hydraulische Durchlässigkeit [L/T]

K_r : horizontale hydraulische Durchlässigkeit [L/T]

r_D : dimensionsloser Abstand = r/D

r : Abstand Beobachtungsbrunnen-Pumpbrunnen [L]

D : Aquifermächtigkeit [L]

S_y : Nutzporenvolumen

α_1 : Empirische Konstante für die Entwässerung aus der ungesättigten Zone [T^{-1}]

4.2.4.7 Multi-Aquifersystem

Die Berechnung erfolgt nach Neuman & Witherspoon (1969a+b). Es werden folgende dimensionslose Parameter verwendet:

$$\beta_p = \frac{r}{\sqrt{T_p c}}$$

$$\beta_{up} = \frac{r}{\sqrt{T_{up} c}}$$

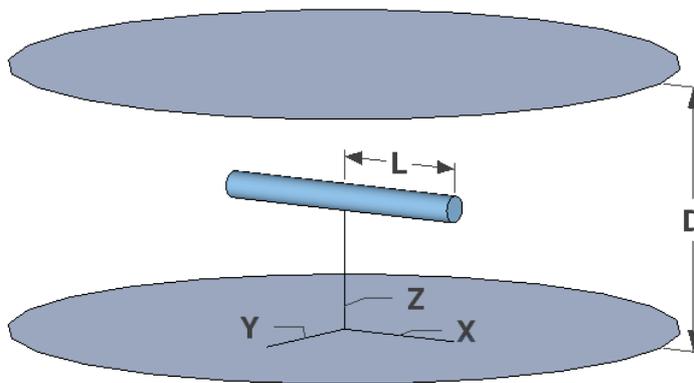
$$\frac{S_{up}}{S_p}$$

$$\frac{S_A}{S_p}$$

Der Index p steht für den bepumpte Aquifer, up für den nicht bepumpte Aquifer. Der Index A kennzeichnet die Aquitarde.

4.2.4.8 Horizontalbrunnen

Das Programm verwendet die Berechnung nach Clonts & Ramey (1986).



Folgende dimensionslose Parameter werden definiert:

$$x_D = \left(1 + \frac{x - x_w}{L}\right) \sqrt{\frac{k_y}{k_x}} - 1$$

$$y_D = \frac{y - y_w}{L}$$

$$z_D = \frac{z - z_w}{L} \sqrt{\frac{k_y}{k_z}}$$

$$z_{wD} = \frac{z_w}{D}$$

$$L_D = \frac{L}{D} \sqrt{\frac{k_z}{k_y}}$$

mit

x, y, z: Koordinaten des Messpunkts

x_w, y_w, z_w : Koordinaten des Mittelpunkt des Horizontalbrunnens [L]

k_x, k_y, k_z : Durchlässigkeit in x-, y-, z-Richtung [L/T]

D: Aquifermächtigkeit [L]

L: Halbe Länge des Horizontalbrunnens [L]

Die Längsachse des Horizontalbrunnens ist hierbei parallel der x-Achse.

Der dimensionslose Druck p_D als Funktion der o.g. Parameter errechnet sich mit

$$p_D(x_D, y_D, z_D, z_{wD}, L_D, t_D) = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \int_0^{t_D} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-n^2 \pi^2 L_D^2 \tau_D) \cos(n\pi z_{wD}) \cos(n\pi(z_D L_D + z_{wD})) \right] \left[\operatorname{erf} \frac{(1+x_D)}{2\sqrt{\tau_D}} + \operatorname{erf} \frac{(1-x_D)}{2\sqrt{\tau_D}} \right] \left[\frac{\exp\left[-\frac{y_D^2}{4\tau_D}\right]}{\sqrt{\tau_D}} \right] d\tau_D$$

Vergleich mit den Tabellenwerten von Clonts & Ramey

In der Originalliteratur von Clonts & Ramey (1986) sind vier Tabellen mit Werten für den dimensionlosen Druck p_D angegeben. Diese Werte lassen sich auch mit Hydro Tec in Form von Typkuren reproduzieren. Durch die unterschiedliche Definition von p_D bzw. s_D muss jedoch ein Faktor eingeführt werden.

Clonts & Ramey	Hydro Tec
$t_D = \frac{kt}{\phi \mu c_t L^2}$	$t_D = \frac{Tt}{L^2 S}$
$p_D = \frac{2\pi kh \Delta p}{qB\mu}$	$s_D = \frac{4\pi T s}{Q}$

für Clonts & Ramey mit:

k: Durchlässigkeit [Darcy]

t: Zeit [s]

ϕ : Porosität []

μ : Dynamische Viskosität [cp]

c_t : Kompressibilität [atm⁻¹]

L: halbe Länge des Horizontalbrunnens [cm]

h: Mächtigkeit [cm]

qB: Förderrate [cm³/s]

Ein Wert von p_D muss mit 2 multipliziert werden um den Wert für s_D zu erhalten.

Beispiel:

Aus der Tab 1. in Clonts & Ramey ergibt sich für $t_D=10^{-4}$ und $L_D=0,5$ ein Wert von $p_D=3,4$. Die anderen Parameter dort sind $x_D=0$, $y_D=5 \times 10^{-4}$, $z_D=0$, $z_{wD}=0,5$. Wenn Sie in Hydro Tec in der dimensionslosen Darstellung eine entsprechende Typkurve anlegen lesen Sie an der Stelle $t_D=10^{-4}$ einen Wert von $s_D=6,8$ ab. Dies ist genau der doppelte Tabellenwert von p_D .

4.2.4.9 Slug-Test - Cooper, Bredhoeft & Papadopulos

Da beim Slug-Test keine Förderrate vorkommt unterscheidet sich die Definition von s_D von der beim Pumpversuch. Sie lautet:

$$s_D = \frac{h}{h_0}$$

mit

h : Wasserspiegeländerung

h_0 : Wasserspiegeländerung zum Zeitpunkt $t=0$.

Der dimensionslose Brunnenspeicherkoeffizient ist definiert als

$$C_D = \frac{r_c^2}{2r_w^2 S}$$

mit

r_c : Radius des Vollrohrs in dem der Wasserspiegel sich ändert

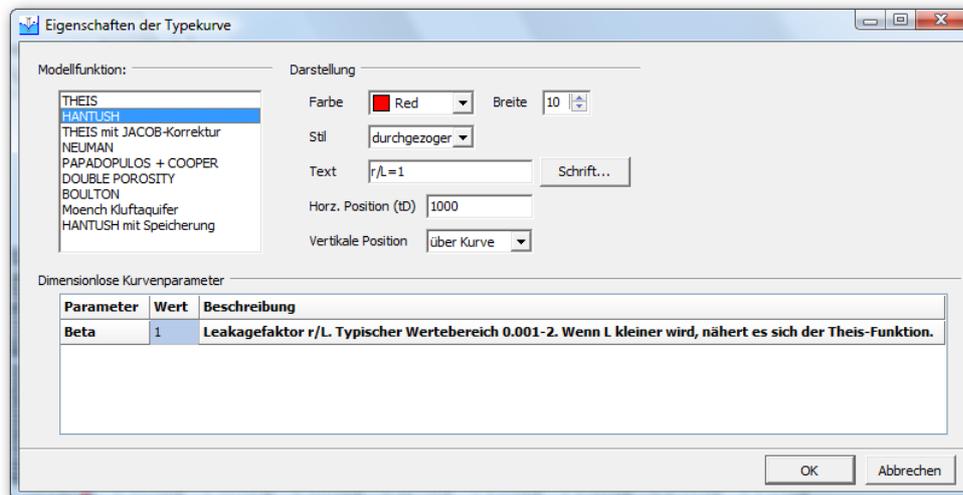
r_w : Radius des Filterrohrs

S : Speicherkoeffizient

Im Graph wird t_D/C_D auf der x-Achse und s_D auf der y-Achse dargestellt.

4.2.5 Typkurven hinzufügen

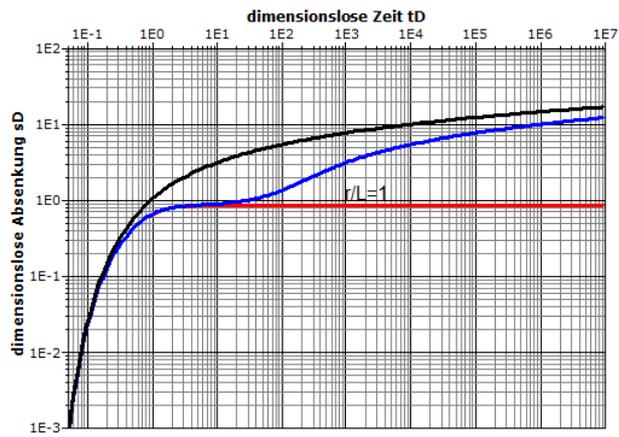
In der dimensionslosen Darstellung können zur Verdeutlichung benutzerdefinierte Typkurven hinzugefügt werden. Klicken Sie dazu im Panel **Typkurven** auf **Typkurven hinzufügen**. Es erscheint ein Dialog mit den Angaben zur neuen Typkurve:



Je nach gewählter Modellfunktion müssen die **dimensionslosen Kurvenparameter** angegeben werden, die in den vorangegangenen Kapiteln definiert sind.

Im Bereich **Darstellung** wird u.a. **Farbe**, **Strichstärke** und die **Beschriftung** angegeben.

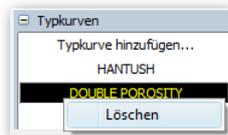
Mit **OK** wird das Fenster geschlossen und die neu erstellte Typkurve wird im Auswertgraphen angezeigt. Sie kann jederzeit wieder bearbeitet werden, in dem sie im Panel **Typkurven** angeklickt wird.



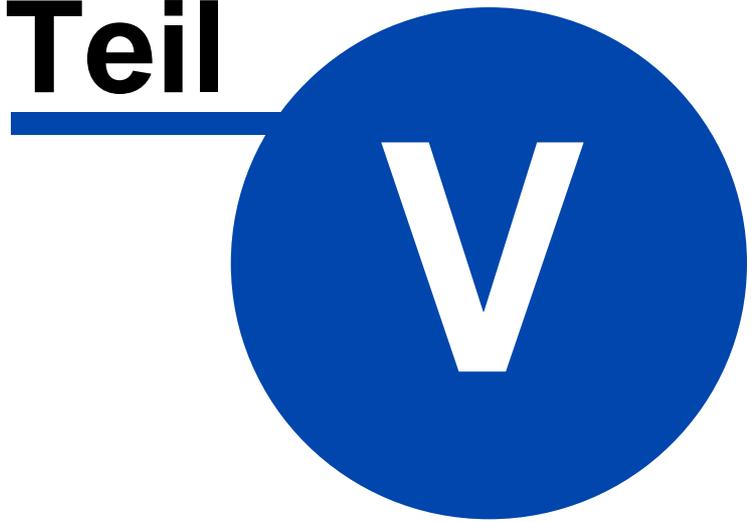
Beispielgraph: Hantush (rot) und Double-Porosity (blau) Typkurven im Graph mit Theis-Kurve

Typkurve löschen

Um eine Typkurve wieder zu entfernen klicken Sie diese mit der rechten Maustaste im Panel **Typkurven** an und wählen **Löschen** aus dem Kontextmenü.



Teil



5 Theoretische Grundlagen

Alle verwendeten Verfahren und Methoden von Hydro Tec an dieser Stelle vollständig zu beschreiben würde den Rahmen dieses Handbuchs sprengen. Deshalb sei an dieser Stelle an die Fachliteratur im Anhang verwiesen. Doch soll versucht werden, die Berechnungsmethodik des Programms hier transparent darzustellen.

5.1 Theis

Grundsätzlich besteht die Auswertgrafik aus einem x,y-Graphen mit der Zeit auf der Abszisse und der Absenkung auf der Ordinate. Die Skalierung der Achsen kann sowohl linear wie auch logarithmisch erfolgen. Eine Fixierung auf bestimmte Darstellung, wie z.B. doppeltlogarithmisch bei Theis, ist nicht notwendig, da das Programm nicht mit festen Typkurven arbeitet.

Die Messwerte werden in die Auswertgrafik eingezeichnet. Zusätzlich berechnet das Programm mit den vorhandenen Parametern eine Zeit-Absenkungskurve nach dem aktuellen Modell. Bei Theis wäre dies:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

mit

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Q = Förderrate

T = Transmissivität

r = Abstand Pumpbrunnen-Beobachtungsbrunnen

t = Zeit

S = Speicherkoeffizient

W(u) = Theis-Funktion

Die Theis-Funktion wird zur Laufzeit berechnet. Soweit gleicht das Programm der normalen Theis-Auswertung. Sie erhalten die bekannte Theis-Typkurve, indem Sie die Modellannahmen entsprechend formulieren (gespannter, isotroper, unendlich Aquifer, vollkommener Brunnen, konstante Förderrate) und die Darstellung auf doppeltlogarithmisch einstellen.

5.1.1 Superpositionsprinzip

Sowohl die Modellannahme der konstanten Förderrate wie auch die der unendlichen Aquiferausdehnung können mit dem Superpositionsprinzip erweitert werden.

Variable Förderrate

Für eine schwankende Förderrate gilt:

$$s(t) = \frac{Q_1}{4\pi T} W\left(\frac{r^2 S}{4Tt}\right) + \sum_{i=2}^n \frac{Q_i - Q_{i-1}}{4\pi T} W\left(\frac{r^2 S}{4T(t - t_{i-1})}\right)$$

$t > t_{i-1}$

mit

Q_1 = Förderrate ab $t=0$

Q_i = Förderrate bei Pumpstufe i

n = Anzahl der Pumpstufen

Die Absenkung zum Zeitpunkt t entspricht der Absenkung verursacht durch die anfängliche Förderrate plus der Summe aller Absenkungen verursacht durch die Förderratenänderung.

Mehrere Pumpbrunnen

Für den Fall mehrerer Pumpbrunnen (oder auch Injektionsbrunnen) lautet die Formel zur Berechnung der Absenkung ganz ähnlich:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi T} W\left(\frac{r_i^2 S}{4Tt}\right)$$

mit

n = Anzahl der Pump/Injektionsbrunnen

Q_i = Förderrate am Brunnen i

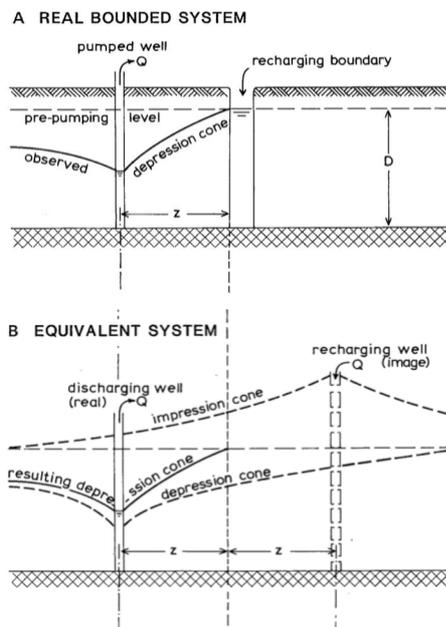
r_i = Abstand Beobachtungsbrunnen zu Brunnen i

Auch hier ist die Absenkung die Summe aller Absenkungsbeträge verursacht durch die Förderung in den einzelnen Brunnen.

Randliche Begrenzung

Damit ist Hydro Tec in der Lage, sowohl variable Förderraten wie auch Mehrfachpumpbrunnen bei der Berechnung der Absenkung zu berücksichtigen. Die randliche Begrenzung des Aquifers durch eine undurchlässige Schicht bzw. einen ernährenden Rand (z.B. Einspeisung durch einen Fluss) wird ebenfalls nach dem Superpositionsprinzip errechnet. Dabei legt das Programm einen imaginären Förder- bzw. Injektionsbrunnen an, der in die Berechnung einfließt.

Eine positive Randbedingung, d.h. eine Begrenzung des Aquifers, in der Wasser eingespeist wird, stellt sich wie folgt da (Abb. A):



In Abb. B ist das entsprechende hydraulische Ersatzsystem dargestellt, d.h. an der Randbedingung wird der Brunnen gespiegelt und in gleichem Abstand wird ein imaginärer Förderbrunnen platziert, der mit der gleichen Rate injiziert, wie der reale Brunnen pumpt.

Im Falle einer negativen Randbedingung, d.h. eines undurchlässigen Randes, ist die geometrische Konstruktion identisch, allerdings wird dann an dem imaginären Brunnen gepumpt anstatt injiziert.

In der Draufsicht ergibt sich folgendes Bild:

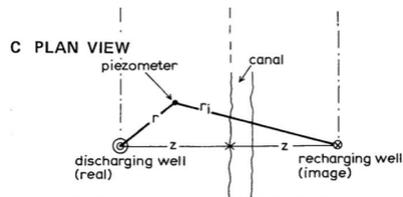


Abb. A, B, C, aus Kruseman & deRidder (1991)

Parameter P

Hydro Tec verwendet den Parameter P bei der einfachen randlichen Begrenzung, der folgendermaßen definiert ist:

$$P = \frac{r_i}{r}$$

mit

r_i = Abstand Meßstelle – imaginärer Pump-/Injektionsbrunnen

r = Abstand Meßstelle – realer Pumpbrunnen

Das Programm verwendet das Superpositionsprinzip nicht nur mit der Theis-Methode, sondern auch mit den anderen Brunnenfunktion (Hantush, Neuman etc.).

5.1.2 Vertikale Anisotropie und unvollkommene Brunnen

Ist der Aquifer anisotrop, d.h. die Durchlässigkeit in horizontaler Richtung ist unterschiedlich von der vertikalen Durchlässigkeit, muss dies bei der Berechnung ebenfalls berücksichtigt werden, sobald eine vertikale Strömungskomponente vorkommt. Dies ist im Falle des gespannten Aquifers nur von Belang, wenn die Brunnenbauten nicht vollkommen sind, d.h. den Aquifer nicht vollständig durchdringen. Andernfalls kommt nur eine horizontale Anströmung vor.

Weeks (1969) entwickelte einen entsprechenden Korrekturterm der eine vertikale Strömungskomponente berücksichtigt:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) + \delta s$$

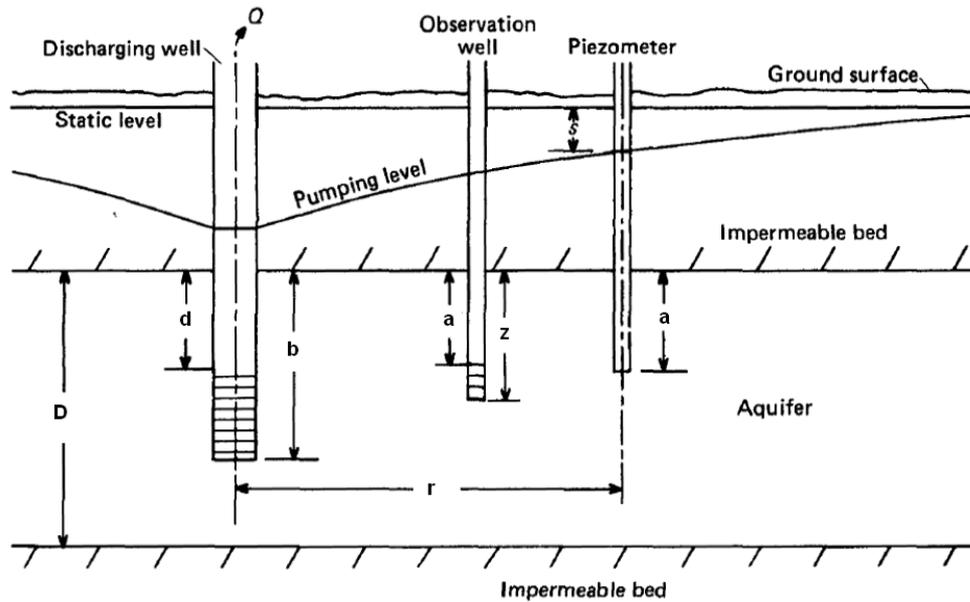
mit

δs = Absenkungsdifferenz zwischen der beobachteten Absenkung und der Absenkung nach Theis.

δs wird wie folgt berechnet:

$$\delta s = \frac{Q}{4\pi T} f_s$$

Zur Berechnung von f_s existieren 2 Formeln, eine für Piezometer und eine für Beobachtungsbrunnen.



Brunnengeometrie nach Reed (1980), modifiziert

f_s für ein Piezometer wird berechnet mit:

$$f_{(s)} = \frac{2D}{\pi(b-d)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} W(u, n\pi\beta') \left\{ \cos \frac{n\pi a}{D} \right\} \left\{ \sin \frac{n\pi b}{D} - \sin \frac{n\pi d}{D} \right\}$$

mit

D : Aquifermächtigkeit

a : Abstand OK Aquifer - Piezometer

b : Abstand OK Aquifer – UK Filter Pumpbrunnen

d : Abstand OK Aquifer – OK Filter Pumpbrunnen

$$\beta' = \frac{r}{D} \sqrt{K_v / K_h}$$

r : Abstand Pumpbrunnen - Piezometer

K_v : vertikale Durchlässigkeit

K_h : horizontale Durchlässigkeit

Für Zeiten größer $t > SD/2K_v$ (S =Speicherkoeffizient) kann die Funktion

$$W(u, n\pi\beta')$$

durch die modifizierte Bessel'sche Funktion der 2. Art und Ordnung 0 approximiert werden:

$$2K_0(n\pi\beta')$$

Hydro Tec verwendet nun folgende Formel zur Berechnung von f_s an einem Piezometer:

$$f_{(s)} = \frac{4D}{\pi(b-d)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} K_0(u, n\pi\beta') \left\{ \cos \frac{n\pi a}{D} \right\} \left\{ \sin \frac{n\pi b}{D} - \sin \frac{n\pi d}{D} \right\}$$

Für Beobachtungsbrunnen ist f_s geringfügig anders definiert:

$$f_{(s)} = \frac{2D^2}{\pi^2(b-d)(z-a)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} W(u, n\pi\beta') \left\{ \sin \frac{n\pi z}{D} - \sin \frac{n\pi a}{D} \right\} \left\{ \sin \frac{n\pi b}{D} - \sin \frac{n\pi d}{D} \right\}$$

mit

a : Abstand OK Aquifer – OK Filter Beobachtungsbrunnen

z : Abstand OK Aquifer – UK Filter Beobachtungsbrunnen

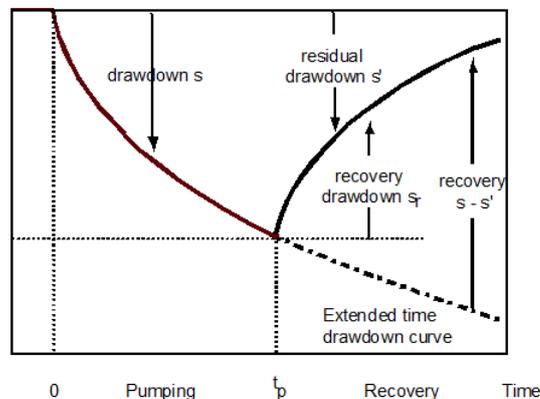
Unter Verwendung der gleichen Einschränkung wie beim Piezometer, $t > SD/2K_v$ kann auch hier $W(u, n\pi\beta')$ mit $2K_0(n\pi\beta')$ ersetzt werden und die von Hydro Tec verwendete Formel lautet:

$$f_{(s)} = \frac{4D^2}{\pi^2(b-d)(z-a)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} K_0(u, n\pi\beta') \left\{ \sin \frac{n\pi z}{D} - \sin \frac{n\pi a}{D} \right\} \left\{ \sin \frac{n\pi b}{D} - \sin \frac{n\pi d}{D} \right\}$$

5.2 Auswertung des Wiederanstiegs

Der Wiederanstieg ist die Phase des Pumpversuchs nach dem Abstellen der Pumpe. Im Idealfall stellt sich der Ausgangswasserspiegel wieder ein.

Die Auswertung des Wiederanstiegs erfolgt nach Agarwal (1980). Ausgewertet wird hierbei der Anstieg seit Pumpenstopp s_r und eine äquivalente Zeit t_e .



Der Anstieg seit Pumpenstopp s_r ist wie folgt definiert:

$$s_r = h - h_p$$

mit

h : Druckspiegelhöhe

h_p : Druckspiegelhöhe am Ende des Pumpversuchs

Die Wiederanstiegszeit t_r ist die Zeit seit dem Abstellen der Pumpe:

$$t_r = t - t_p$$

mit

t : Zeit seit Pumpbeginn

t_p : Gesamtpumpdauer

Für den Fall des Wiederanstiegs nach einem Pumpversuch mit konstanter Förderrate, kann die Theis-Lösung durch die Cooper & Jacob Lösung approximiert werden. Die Cooper & Jacob-Lösung der Anstiegs seit Pumpenstopp s_r lautet nach Agarwal:

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \frac{4Tt_p}{r^2 S} - \ln \frac{4T(t_r + t_p)}{r^2 S} + \ln \frac{4Tt_r}{r^2 S} \right]$$

oder

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{4T}{r^2 S} \frac{t_r t_p}{(t_r + t_p)} \right) = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{4T t_e}{r^2 S} \right)$$

mit der äquivalenten Agarwal-Zeit t_e :

$$t_e = \frac{t_r t_p}{(t_r + t_p)}$$

Die Lösung identisch mit der Cooper & Jacob Lösung zur Auswertung der Absenkung, in dem man s durch s_r und für t durch t_e ersetzt.

Für den Fall von n aufeinander folgenden Pumpstufen mit den Förderraten q_1 von $t=0$ bis $t=t_1$, q_2 von $t=t_1$ bis $t=t_2$ usw. gelangt man folgendem Ausdruck:

$$s_r = \frac{q_n}{4\pi T} \ln \left(\frac{4T t_e}{r^2 S} \right)$$

mit

$$t_e = \left[\prod_{j=1}^n \left(\frac{t_n - t_{j-1}}{t_r + t_n - t_{j-1}} \right)^{\left(\frac{q_j - q_{j-1}}{q_n} \right)} \right] t_r$$

$$t_0 = 0$$

$$q_0 = 0$$

Für den Fall $n=1$ vereinfacht sich die Gleichung zu der vorstehend genannten Lösung für den einstufigen Pumpversuch.

Gültigkeitsbereich

Die Lösung von Agarwal wurde unter den Randbedingungen des 2-dimensionalen, radialsymmetrischen Strömungsfeldes im unendlich ausgedehnten Aquifer mit vollkommenen Brunnenbau, ohne BrunnenSpeicherung oder skin-Effekte hergeleitet. Es gelten ebenso die Cooper & Jacob-Bedingungen zur Dauer des Pumpversuchs.

Agarwal zeigt empirisch, dass sich die Methode auch für single-well-Tests (Auswertung im Pumpbrunnen) mit BrunnenSpeicherung und skin-Effekten anwenden lässt, wenn die Pumpdauer t_p lang genug war:

$$t_p > \left(30 + \frac{7}{4} \sigma \right) \frac{r_c^2}{T}$$

mit:

T = Transmissivität

r_c = Radius Verrohrung in der sich der Wasserspiegel ändert, wenn verschieden vom Filterradius

σ = Skinfaktor

Weiterhin zeigt er, dass die Methode auch für Kluftaquifere gute Ergebnisse liefert.

Der Lösungsansatz ist für randlich begrenzte Aquifere nicht gültig.

5.3 Ungespannter und leaky Aquifer

Wie im Kapitel Theis gezeigt lassen sich die restriktiven Modellannahmen der Theis-Methode mit Hilfe des Superpositionsprinzips (für variable Förderrate, Mehrfachpumpbrunnen und einfache randliche Begrenzung des Aquifers) sowie des Korrekturterms nach Weeks (für anisotrope Verhältnisse und unvollkommene Brunnenbauten) erweitern.

Diese grundlegenden Mechanismen gelten aber nicht nur für die Theis-Methode bei gespanntem Aquifer, sondern auch für den ungespannten und leaky Aquifer.

leaky Aquifer

So kann im Fall des leaky Aquifers die Brunnenfunktion $W(u)$ durch die Funktion von Walton $W(u,r/L)$ oder Hantush $W(u,r/B)$ ersetzt werden.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r / L)$$

mit

$$L = \sqrt{Tc}$$

In Hydro Tec wird beim Hantush-Modells der Parameter c (hydraulischer Widerstand, Einheit [Zeit]) verwendet. Je größer c , desto geringer bzw. langsamer ist der Zufluss infolge Leakage. Diese Modell berücksichtigt keine Speicherung in der Aquitarde.

Das Modell von Hantush mit Speicherung in der Aquitarde $W(u,\beta)$ lautet

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \beta)$$

mit

$$\beta = \frac{r}{4} \sqrt{\frac{K' / D'}{T} \times \frac{S'}{S}}$$

S' : Speicherkoeffizient in der Aquitarde

K' : K-Wert der Aquitarde

D' : Mächtigkeit der Aquitarde

Hydro Tec zeigt bei Verwendung dieser Methode $c (=D'/K')$ und S' an.

Ungespannt, anisotrop

Für den ungespannten Aquifer kommt in Hydro Tec das Neuman-Modell zum Einsatz, das sowohl für den vollkommenen wie auch für den unvollkommenen Brunnenausbau verwendet werden kann. In diesem Fall verwendet das Programm eine numerische Lösung.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_A, u_B, \beta)$$

mit

$$\gamma = \frac{\alpha_1 D S_y}{K_z}$$

$$u_B = \frac{r^2 S_y}{4Tt}$$

$$\beta = \frac{r^2 K_v}{D^2 K_h}$$

K_v, K_h : vertikale bzw. horizontale Durchlässigkeit

S_y : Specific Yield, nutzbares Porenvolumen

Als Alternative steht weiterhin das Boulton-Modell zur Verfügung. Dort lautet die Formel für die Absenkung:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} w(u_a, u_y, r/D)$$

mit

$$D = \frac{T}{\alpha S_y}$$

α : empirischer Wert [Einheit 1/Zeit]

u_a ist identisch dem Neuman-Modell, u_y entspricht dem u_b beim Neuman-Modell

Der Vorteil des Boulton-Modells in Hydro Tec liegt in der deutlich schnelleren Laufzeit, d.h. das Programm stockt nicht während der Bearbeitung. Es liefert für T vergleichbare Ergebnisse wie Neuman; die anderen Parameter, insbesondere S_y , sind bei beiden Modellen häufig jenseits realistischer Werte.

Ungespannt, isotrop

Die Jacob-Korrekturformel lautet:

$$s' = s - \frac{s^2}{2D}$$

mit

s: beobachtete Absenkung

D: Aquifermächtigkeit

s': korrigierte Absenkung

5.4 Multi-Aquifersystem

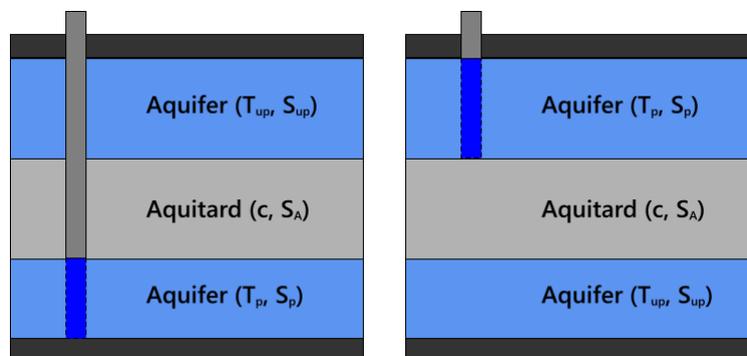
Neuman & Witherspoon

Die Methode von Neuman & Witherspoon (1969a+b) gilt für ein System von 2 Aquiferen die durch eine Aquitarde getrennt sind. Einer der beiden Aquifer wird bepumpt. Die Funktion hängt von 6 Parametern ab:

T_p, T_{up} : Transmissivität im bepumpten und nicht bepumpten Aquifer

S_p, S_{up}, S_A : Speicherkoeffizient im bepumpten und nicht bepumpten Aquifer sowie in der Aquitarde

c: hydraulischer Widerstand der Aquitarde



Die Abbildung oben zeigt die Parameterverteilung. Der Index "p" steht für "pumped", der Index "up" für "unpumped" (und nicht etwa für "up" = oben). Zur Berechnung ist es unerheblich ob sich der bepumpte Aquifer oberhalb oder unterhalb der Aquitarde befindet.

Es werden 2 unterschiedliche Absenkungen berechnet, eine für den bepumpten Aquifer, eine für den nicht bepumpten Aquifer.

Multilayer-Lösung nach Hemker & Maas

Die Lösung nach Hemker & Maas (1987) kann für ein Aquifersystem mit einer beliebigen Anzahl an Aquiferen verwendet werden. Die Grundwasserleiter sind hierbei durch Aquitarden separiert. Das System kann durch Aquicluden oder Aquitarden nach oben und unten begrenzt werden.

Die randliche Begrenzung

Für die randliche Begrenzung (d.h. die obere und untere Begrenzung) sind 4 Typen mögliche:

1. Aquiclude: Keine Strömung in den angrenzenden Aquifer.
2. Aquitarde ohne Speicherung, s (Absenkung) an der dem Aquifer abgewandten Seite ist 0. Der Fluss durch die Aquitarde wird durch den Parameter c bestimmt. Der benachbarte Aquifer steht durch die Aquitarde in Verbindung zu einem Reservoir, deshalb ist $s=0$.
3. Aquitarde mit Speicherung, sonst wie 2. Die Speicherung in der Aquitarde wird durch den Parameter S charakterisiert.
4. Aquitarde mit Speicherung, aber ohne Kontakt zu einem Reservoir. Dadurch kommt die Leakage aus der Aquitarde selbst.

Aquitarde zwischen den Aquiferen

Eine Aquitarde die zwei Aquifere trennt kann mit oder ohne Speicherung gerechnet werden. Folglich gibt es zwei Typen:

1. Aquitarde ohne Speicherung, nur Parameter c
2. Aquitarde mit Speicherung, zusätzlich Parameter S

Konzeptionelle Ersatzmodelle für spezielle Aquifertypen

Für einige Aquifertypen lassen sich mit Hilfe des Multilayer-Ansatzes Ersatzmodelle konzipieren. Damit ist eine bestimmte Schichtabfolge gemeint die mit den realen Verhältnissen nichts zu tun hat, aber das gleiche hydraulische Verhalten zeigt.

5.5 Klufthaquifer

5.5.1 Doppelporositätsmodell

Hydro Tec Professional verwendet das Doppelporositätsmodell zur Berechnung der Absenkung im Klufthaquifer. In diesem Modell nach Warren & Root (1963) wird angenommen, dass der Aquifer aus Blöcken und Klüften besteht. Sowohl für die Blöcke (Matrix) wie auch für die Klüfte wird eine hydraulische Durchlässigkeit, ein spezifischer Speicherkoeffizient und eine Druckspiegelhöhe definiert:

	Klüfte	Matrix (Blöcke)
Druckspiegelhöhe	h	h'
Hydraulische Durchlässigkeit	k_h	k'_h
Spez. Speicherkoeffizient	S_s	S'_s

Weiterhin wird angenommen, dass das Wasser nur aus den Blöcken heraus in die Klüfte fließt, und nicht etwa von Block zu Block oder aus der Kluft zurück in den Block. Diese Fließrate ist definiert als q_a :

$$-q_a = S'_s \frac{\partial h'}{\partial t}$$

Unter der Annahme, dass der Fluss proportional der Durchlässigkeit der Matrix und der Druckspiegeldifferenz ist ergibt sich:

$$q_{\alpha} = \alpha k'_h (h' - h)$$

Der Parameter α beschreibt die Geometrie der Matrix und ist definiert als:

$$\alpha = \frac{A}{lV}$$

mit

A: Oberfläche des Blocks

V: Blockvolumen

l: charakteristische Blocklänge

Das Programm verwendet die dimensionslosen Parameter Λ und σ .

$$\Lambda = \frac{\alpha r^2 k'_h}{k_h}$$

$$\sigma = \frac{S'_s}{S_s}$$

$$r_D = \frac{r}{r_w}$$

mit

r_D : dimensionsloser Abstand

r: Abstand vom Pumpbrunnen

r_w : wirksamer Radius des Pumpbrunnens, i.d.R. der Radius des Filterrohrs

Zu Beginn des Pumpversuchs entwässert das Kluftsystem, d.h. das geförderte Wasser entstammt dem Speichervermögen der Klüfte (S_s). Danach folgt die Phase der verminderten Absenkung, in der die Matrix (Blöcke) beginnt zu entwässern, d.h. Wasser aus den Blöcken in das Kluftsystem übertritt. Der Vorgang wird durch die unterschiedlichen Druckhöhen in Kluftsystem und Matrix ausgelöst. Mit zunehmender Dauer des Pumpversuchs gleichen sich die Druckspiegelhöhen in Matrix und Klüften an und der Aquifer verhält sich wie ein einfacher Porenaquifer, d.h. die Absenkung folgt der Theis-Kurve.

Der Parameter σ gibt hierbei an, um wie vielfach das Speichervermögen der Matrix das des Kluftsystems übertrifft; je größer dieser Wert ist, umso länger ist die mittlere Phase der verminderten Absenkung und die Dauer bis der Aquifer sich wie ein Theis-Aquifer verhält.

Der Wert von Λ bestimmt wie schnell die Matrix auf die Druckänderung im Kluftsystem reagiert. Große Werte von Λ zeigen eine schnelle Reaktion an, kleine Werte eine Langsame.

5.5.2 Kluftaquifer mit Skin-Effekt

Bei dem Modell von MOENCH (1984) handelt es sich um ein Doppelporositätsmodell, bei dem ein zusätzlichem Skin-Effekt am Interface Block-Kluft auftritt. Diese Skin-Schicht kann z.B. durch Mineralbeläge an den Klüften kommen. Mathematisch wird dieser Effekt im S_F erfasst. Ist $S_F = 0$, dann gibt es keinen Skin-Effekt, d.h. sofortige Drainage aus dem Block in die Kluft. Wenn S_F groß ist wird aus der instationären Strömung vom Block in die Kluft ein stationärer Strömungszustand.

Die dimensionslosen Parameter bei der Methode sind (neben σ , was im Kapitel Doppelporositätsmodell bereits definiert ist) γ und S_F .

$$\gamma = \frac{r_w}{b'} \sqrt{\frac{K'}{K}}$$

mit

r_w : wirksamer Radius des Pumpbrunnens, i.d.R. der Radius des Filterrohrs

$2b'$: durchschnittlicher Durchmesser oder Mächtigkeit des Blocks

K' : Hydraulische Durchlässigkeit der Blöcke

K : Hydraulische Durchlässigkeit des Kluftsystems (i.e. des Aquifers)

$$S_F = \frac{K' b_s}{K_s b'}$$

mit

b_s : Durchschnittliche Dicke der Skin-Schicht (Kluftbelag)

K_s : Hydraulische Durchlässigkeit der Skin-Schicht (Kluftbelag)

Da die o.g. "echten" Parameter i.d.R. unbekannt sind werden in Hydro Tec nur die dimensionslosen Parameter verwendet.

Bei Auswahl der Methode in Hydro Tec tauchen im Panel **Modellannahmen** noch 2 weitere Annahmen auf, das **Matrix-Kluft-Strömungsmodell** und die **Blockgeometrie**. Für das Matrix-Kluft-Strömungsmodell lassen sich die Einstellungen **stationär** und **instationär** auswählen. Die Blockgeometrie gibt an, ob es sich um **plattige** oder **kugelförmige** Blöcke handelt. Dies ergibt in der Summe 4 Kombinationen für die Moench 4 unterschiedliche Formeln angibt (Formeln 46, 53, 58, 59 in MOENCH). Zum genauen Verständnis ist eine Konsultation der Originalliteratur unumgänglich.

Auch die MOENCH-Typkurven die mit der Funktion **Typkurve hinzufügen** erstellt wurden entnehmen diese Informationen diesem Panel. Sie können also in einer Auswertung nicht unterschiedliche Blockgeometrien und Matrix-Kluft-Strömungsmodelle kombinieren.

5.6 Auswertungen im Pumpbrunnen

Oftmals stehen bei der Durchführung von Pumpversuchen keine Beobachtungsbrunnen/Piezometer zur Verfügung und es liegen nur Messungen aus dem Pumpbrunnen selbst vor. Dies hat zumeist wirtschaftliche Gründe, dass Bohren eines Beobachtungspegels kann teuer sein.

Die Absenkung im Pumpbrunnen wird aber nicht nur durch die Aquifereigenschaften beeinflusst, sondern auch durch folgende Faktoren bestimmt:

1. Brunnenspeicherung
2. skin-Effekte
3. Brunnenverluste

Dies führt dazu, dass oftmals die eigentlichen Aquifereigenschaften, z.B. der Speicherkoeffizient, nicht oder nicht zuverlässig bestimmt werden können.

5.6.1 Brunnenspeicherung

Zu Beginn des Pumpversuchs stammt das geförderte Wasser zumeist aus dem Pumpbrunnen selbst oder aus dem mit Kies verfüllten Ringraum. Nur ein geringer Anteil der Fördermenge entstammt dem Aquifer. Mit Fortdauer des Versuchs ändert sich dies Verhältnis, bis das geförderte Wasser vollständig aus dem Aquifer kommt und der Effekt der Brunnenspeicherung verschwindet.

Das mathematische Modell zur Lösung ist in Papadopoulos & Cooper (1967) beschrieben. Die Absenkung im Pumpbrunnen ($r=r_w$) berechnet sich danach wie folgt:

$$s_w(t) = \frac{Q}{4\pi T} F\left(\frac{Tt}{r_w^2 S}, \alpha\right)$$

mit

$$\alpha = \frac{r_w^2 S}{r_c^2} = \frac{1}{2C_D}$$

s_w = Absenkung im Pumpbrunnen

r_w = Wirksamer Radius des Filters/Brunnens

r_c = Radius des Vollrohrs, in dem sich der Wasserspiegel ändert

C_D = dimensionsloser Brunnenspeicherkoeffizient, in der Literatur von Papadopoulos wird α verwendet.

Wie aus den Gleichungen ersichtlich korreliert der Brunnenspeicherkoeffizient C_D mit dem Speicherkoeffizienten S .

Bemerkungen zu den Radien

Bei der numerischen Angabe von r_w liegt der Schlüssel wieder einmal im Wort „wirksamer“. Der wirksame Radius des Brunnens liegt normalerweise irgendwo zwischen dem Radius des Filters und dem Radius der Bohrung, d.h. er ist kein tatsächlich vorhandenes Maß, sondern ein berechneter Wert. Der genaue Wert hängt vom nutzbaren Porenvolumen der dazwischenliegenden Ringraumfüllung ab.

In **Hydro Tec Professional** werden folgende Maße eingegeben:

B: Radius der Bohrung

R: Radius des Filters

r: Radius des Vollrohrs

n: Nutzbare Porosität der Ringraumfüllung

Wenn nicht anders angegeben ist, verwendet Hydro Tec den Wert R (d.h. Filterradius) als wirksamen Radius.

Wenn die Option **Wirksamer Brunnenradius verwenden** gewählt ist, berechnet Hydro Tec diesen nach der Formel

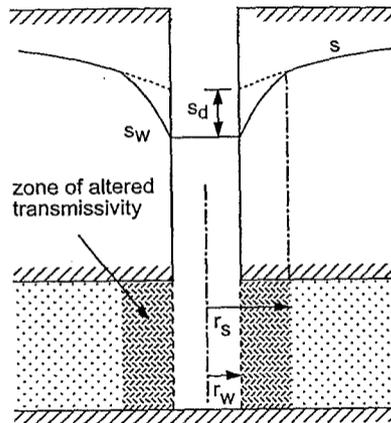
$$r_w = \sqrt{R^2(1-n) + nB^2}$$

5.6.2 Skin-Effekte

Mit Skin-Effekt wird eine Veränderung in der Transmissivität in unmittelbarer Umgebung um den Pumpbrunnen bezeichnet. Dabei kann es sich sowohl um eine Erhöhung wie auch eine Reduzierung der Durchlässigkeit handeln. Typische Ursachen hierfür sind

- Verockerung; durch den Kontakt mit Sauerstoff bilden sich Eisenoxide und verstopfen die Poren der Grundwasserleiters
- Auflockerung des Aquifers z.B. durch den Bohrvorgang, wobei sich die Durchlässigkeit erhöht
- Einbau eines Filterkieses mit hoher Durchlässigkeit im Ringraum der Bohrung

In der Modellvorstellung wird angenommen, dass es sich um einen zylinderförmigen Zone veränderter Transmissivität um den Brunnen handelt.



Darstellung der Skin-Zone (aus Renard 2001)

Ausgehend vom stationären Strömungszustand ergibt sich eine Differenz s_d der Absenkung im Brunnen zwischen dem gemessenen Wasserspiegel und dem Wasserspiegel der ohne Skin-Effekt auftreten würde. Diese beträgt:

$$s_d = \frac{Q}{2\pi T} \sigma$$

mit

$$\sigma = \left(\frac{T - T_s}{T_s} \right) \ln \left(\frac{r_s}{r_w} \right)$$

T : Transmissivität im Aquifer

T_s : Transmissivität in der Skin-Zone

r_w : (wirksamer) Radius des Filters/Brunnens

r_s : Radius der Skin-Zone

Die dimensionslose Konstante σ ist der Skin-Faktor.

Hat der Skin-Faktor einen positiven Wert ist die Transmissivität im Bereich um den Brunnen geringer als im Aquifer. Ist der Wert dagegen negativ ist die Durchlässigkeit höhere als im Aquifer.

Weiterhin gilt, dass selbst eine schmale Zone geringer Durchlässigkeit zu einem großen s_d führt, während eine erhöhte Durchlässigkeit nur geringe Auswirkungen auf die Absenkung im Brunnen hat.

Agrawal et al. (1970) stellten ein Modell vor, welches sowohl BrunnenSpeicherung wie auch Skin-Effekt berücksichtigt.

$$s_w(t) = s(r_w, t) - \sigma \left(r \frac{\partial s}{\partial r} \right)_{r=r_w}$$

Der Term $s(r_w, t)$ entspricht Papadopulos & Cooper Modell, wobei für den Pumpbrunnen der Parameter r_w wegfällt.

Korrelation der Modelle von Papadopulos & Cooper und Agarwal

Das Papadopulos & Cooper Modell liefert die gleiche Absenkung wie Agarwal, wenn der Parameter C_D durch $C_D e^{2\sigma}$ ersetzt wird:

$$s_D = F_A(t_D, C_D, \sigma) = F_{PC}(t_D, C_D e^{2\sigma})$$

mit

s_D : dimensionslose Absenkung

Wenn Sie in Hydro Tec auf die Schaltfläche für die erweiterten Parameter bei der Papadopulos & Cooper Methode klicken öffnet sich ein Fenster das die folgenden Berechnungsoptionen ermöglicht:

1. kein Skin-Effekt
2. Eingabe von C_D für Agarwal, σ wird berechnet:

$$\sigma = \frac{\ln\left(\frac{C_{D(PC)}}{C_{D(A)}}\right)}{2}$$

3. Eingabe von σ für Agarwal, C_D wird berechnet:

$$C_{D(A)} = \frac{C_{D(PC)}}{e^{2\sigma}}$$

Eine unabhängige Bestimmung des Skin-Faktors σ ist nicht möglich, es muss immer eine Annahme für den Brunnenspeicherkoeffizienten C_D getroffen werden.

5.6.3 Brunnenverluste

Nach Jacob setzt sich die Gesamtabenkung in einem Brunnen in eine laminaren Aquiferanteil und einen turbulenten Brunnenverlustanteil zusammen.

$$s_w = B Q + C Q^2$$

mit

s_w = Absenkung im Brunneninnenraum

Q = Förderrate

B = hydraulischer Widerstand des Aquifers

C = Brunneneintrittsverlustfaktor

Die Parameter B und Q werden normalerweise mit Hilfe eines Stufenpumpversuchs ermittelt, in dessen Verlauf jede Pumpstufe den stationären Zustand (d.h. die Absenkung ändert sich nicht mehr) erreicht haben muss.

Der Brunneneintrittsverlustfaktor C [m^2/s^5] ist nicht identisch mit der spezifischen Ergiebigkeit C [m^2/s]

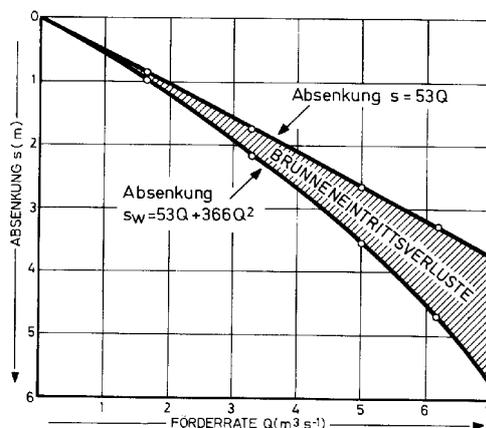
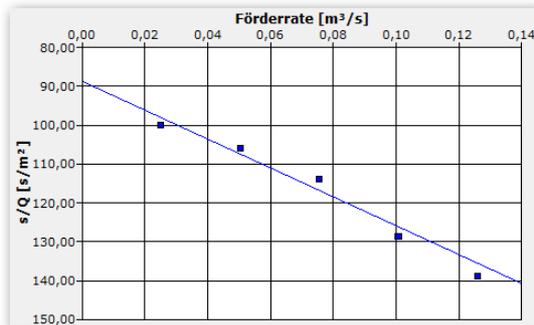


Abb. aus Langguth & Voigt (1980)

In der obigen Abbildung folgt die Gerade der Funktion $s = BQ$, während die untere Kurve nach Jacob-Formel berechnet wurde.

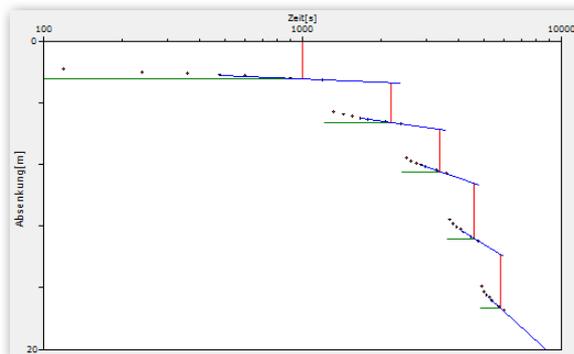
Zur Bestimmung der beiden Parameter B und C wird $s_{w(n)}/Q_n$ gegen Q_n aufgetragen und eine Ausgleichsgerade in die Punkte gelegt. Aus dem Schnittpunkt der Geraden bei $Q_n=0$ mit der y-Achse lässt sich B ablesen. Die Steigung der Geraden $\Delta(s_{w(n)}/Q_n)/\Delta Q_n$ ist der Parameter C.



Instationäre Strömung, die Methode von Hantush-Bierschenk

Die Methode von Hantush-Bierschenk erlaubt es, die Parameter B und C auch anhand von instationären Zuständen zu berechnen. Sie kann bei gespannten, freien oder leaky Aquiferen eingesetzt werden.

Dazu wird die beobachtete Absenkung s_w gegen t halblogarithmisch aufgetragen. Für jede Pumpstufe wird nun eine Ausgleichsgerade erstellt und diese wird bis zum Ende der nächsten Pumpstufe verlängert. Dann wird $\Delta s_{w(i)}$ (in der Abbildung unten rot eingezeichnet) ermittelt als Differenz zwischen der beobachteten Absenkung und der Ausgleichsgeraden (blau) der vorangegangenen Pumpstufe zum Zeitpunkt Δt (grün) gemessen vom Beginn der Pumpstufe.



Dann wird $s_{w(n)}$ errechnet als die Summe mit $s_{w(n)} = \Delta s_{w(1)} + \Delta s_{w(2)} \dots \Delta s_{w(n)}$.

Im Programm wird $s_{w(n)}$ in einer Tabelle angezeigt:

Stufe	Delta s [m]	s(w) [m]
1	2,46	2,46
2	2,56	5,02
3	2,79	7,80
4	3,58	11,38
5	3,49	14,87

Das so ermittelte $s_{w(n)}$ wird dann wie oben beschrieben im $s_{w(n)}/Q_n$ gegen Q_n -Diagramm verwendet.

5.6.4 Brunnenwirkungsgrad

Mit Kenntnis der Faktoren B und C (s. Brunnenverluste) wird der Wirkungsgrad eines Brunnens berechnet mit

$$= BQ/(BQ+CQ^2)$$

BQ ist die durch den Aquifer verursachte Absenkung.

$BQ+CQ^2$ ist die Summe aus durch den Aquifer verursachte und durch Brunnenverluste verursachte Absenkung, d.h. die Absenkung im Pumpbrunnen.

5.7 Horizontalbrunnen

Das Verfahren zur Auswertung eines Pumpversuchs im Horizontalbrunnen in Hydro Tec basiert auf Clonts & Ramey (1986). Die dem Modell zugrunde liegende Geometrie ist im Kapitel Dimensionslose Darstellung beschrieben. Folgende Phasen der Anströmung treten dabei nacheinander auf:

- Vertikale radiale Strömung: Am Anfang des Pumpversuchs wird der Brunnen radial (in der x-z-Ebene) angeströmt. Diese Phase ist zumeist sehr kurz.
- End-Effects-Phase: Diese tritt auf, wenn die vertikale radiale Strömung die obere und/oder untere Aquiferbegrenzung erreicht hat. Diese Phase tritt abhängig von Aquifermächtigkeit und der Lage des Brunnens nicht auf.
- Pseudoradiale Anströmung: Mit fortwährender Dauer des Pumpversuchs verhält sich der Horizontalbrunnen wie ein Vertikalbrunnen.

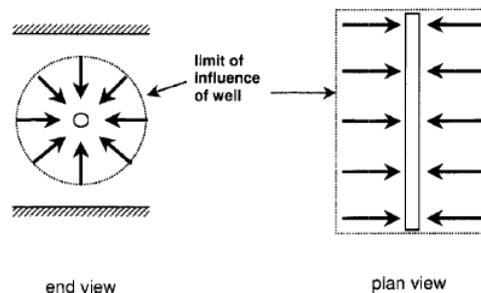


Figure 2. Early radial flow (the circular limit of influence in the end view assumes isotropy in the x-z plane).

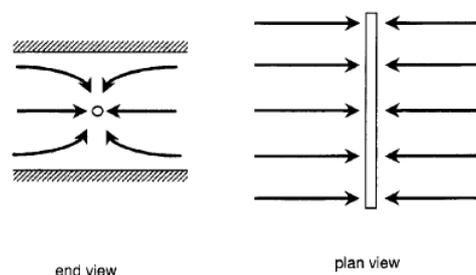


Figure 3. Early linear flow.

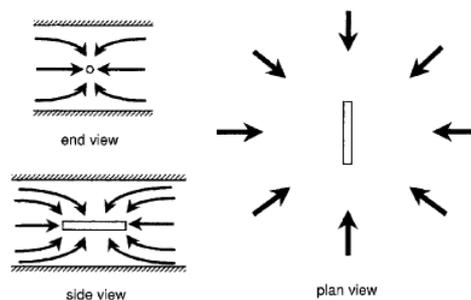


Figure 4. Late pseudoradial flow (the circular flow pattern in the plan view assumes isotropy in the horizontal plane).

**Strömungsphasen im Horizontalbrunnen, aus
KAWECKI (2000)**

Eine zuverlässige Bestimmung der Transmissivität ist nur bei ausgeprägter pseudoradialer Anströmung möglich, diese tritt jedoch erst bei einer relativ langen Pumpdauer ein.

5.8 Geradlinienverfahren

Geradlinienverfahren nach Cooper & Jacob wurden ursprünglich als Vereinfachung der relativ rechenintensiven Theis-Lösung entwickelt. Sie waren bei der manuellen Auswertung wesentlich einfacher zu handhaben als die sperrige Theis-Lösung und bieten mit ihrer halblogarithmischen Darstellung dem Betrachter ein gefälliges Bild.

5.8.1 Cooper & Jacob

Cooper & Jacob konnten nachweisen, dass sich die Absenkung nach Theis durch die Gleichung

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0,5772 - \ln u)$$

mit

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

ersetzen lässt, wenn u einen bestimmten Grenzwert unterschreitet. Für diesen Grenzwert, das Cooper-Jacob-Gültigkeitskriterium, finden sich in der Literatur verschiedene Angaben, in Hydro Tec ist 0,01 voreingestellt. Sie können dies unter **Extras/Optionen** auf der Seite **Konstanten** ändern. Das Gültigkeitskriterium wird bei der Auswertung als gestrichelte blaue Linie angezeigt, jedoch nicht ausgedruckt.

Zeit-Absenkungs-Verfahren (Cooper & Jacob I)

Bei diesem Verfahren wird t logarithmisch auf der X-Achse und s linear auf der Y-Achse aufgetragen. Durch die Messpunkte wird dann eine Ausgleichsgerade gelegt. Die Bestimmungsgleichungen lauten

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s}$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$$

mit

Δs = Absenkungsdifferenz pro logarithmischen Zeitzyklus

t_0 = Zeitpunkt beim Schnittpunkt der Geraden mit der Zeitachse bei $s = 0$

Abstands-Absenkungs-Verfahren (Cooper & Jacob II)

Hier wird zu einem bestimmten Zeitpunkt t die Absenkung s als Funktion des Abstandes r aufgetragen (r logarithmisch auf der X-Achse). Die Bestimmungsgleichungen lauten

$$T = \frac{2,3Q}{2\pi\Delta s}$$

$$S = \frac{2,25Tt}{r_0^2}$$

mit

r_0 = Abstand beim Schnittpunkt der Geraden mit der Abstandsachse bei $s = 0$

Abstands-Zeit-Absenkungs-Verfahren (Cooper & Jacob III)

Hier wird s gegen t/r^2 aufgetragen. Die Bestimmungsgleichungen lauten

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s}$$

$$S = 2,25T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0$$

mit

$(t/r^2)_0 = t/r^2$ im Schnittpunkt der Geraden mit der X-Achse bei $s = 0$

5.8.2 Wiederanstieg nach Theis und Jacob

Bei diesem Verfahren wird die verbleibende Absenkung s_r gegen den Quotienten t/t' aufgetragen (t/t' logarithmisch auf der X-Achse, s_r linear auf der Y-Achse). Hierbei ist

t = Zeit seit Pumpbeginn

t' = Zeit seit Abstellen der Pumpe

Dann wird eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte gelegt.

Die Transmissivität kann wie folgt berechnet werden:

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s_r}$$

mit

Δs_r = Absenkungsdifferenz pro logarithmischen Zyklus t/t'

5.9 Slug-Test

Slug-Test-Auswertungen stehen in Hydro Tec Professional zur Verfügung.

Bei einem Slug-Test wird i.d.R. ein Verdrängungskörper („slug“) in den Pegel hinab gelassen. Durch die Verdrängung, die dem plötzlichen hinzufügen von Wasser entspricht, steigt der Wasserstand im Pegel entsprechend an. Wichtig ist es, den Grundwasserstand unmittelbar nach dem Eintauchen des slugs zu messen. Dies erfordert zumeist eine elektronische Messvorrichtung. Der Wasserstand fällt nun in Abhängigkeit von der Untergrunddurchlässigkeit mehr oder weniger schnell auf seinen Ruhewasserspiegel zurück.

Beim Ziehen des Slugs, was dem Entfernen von Wasser aus der Messstelle entspricht, verhält sich der Wasserspiegel genau umgekehrt: Er sinkt plötzlich ab und steigt dann wieder bis auf den Ruhewasserstand an. Dies ist dann ein Bail-Test, die Auswertung erfolgt analog.

5.9.1 Cooper, Bredehoeft & Papadopoulos

Das Programm verwendet die Slug-Test-Auswertung nach Cooper, Bredehoeft & Papadopoulos (1967).

Das Modell geht von folgenden Annahmen aus:

Aquifer	Gespannt
	Horizontal GW-Oberfläche vor Testbeginn
	Unendliche ausgedehnt
	Konstante Mächtigkeit
	Homogene Transmissivität und Speicherkoeffizient
	Isotrop
Versuchsbrunnen	Vollkommen

Filterradius ist r_w

Standrohrradius (wo die Wasserspiegeländerung stattfindet)
 r_0 kann sich von r_w unterscheiden

Plötzliche Wasserspiegeländerung

Die Druckspiegelhöhe zum Zeitpunkt t_0 ändert sich plötzlich wie folgt:

$$h_0 = \frac{V}{\pi r_c^2}$$

mit

V: Wasservolumen

Sodann beginnt der Wasserspiegel zu steigen (Bail-Test) bzw. zu fallen (Slug-Test) und der Druckspiegel zum Zeitpunkt t wird berechnet:

$$h = h_0 F(\alpha, \beta)$$

mit

$$\alpha = \frac{r_w^2 S}{r_c^2}$$

$$\beta = \frac{Tt}{r_c^2}$$

$$F(\alpha, \beta) = \frac{8\varepsilon}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{e^{-\beta u^2 / \alpha}}{u f(u, \alpha)} du$$

$$f(u, \alpha) = [uJ_0(u) - 2\alpha J_1(u)]^2 + [uY_0(u) - 2\alpha Y_1(u)]^2$$

J_n und Y_n : Besselfunktionen der 1 und 2. Art und der Ordnung n .

Auch wenn theoretisch der Speicherkoeffizient S berechnet wird ist dieser zumeist erheblich vom Skin-Effekt geprägt und kann somit oftmals nicht verwendet werden.

5.9.2 Hvorslev

Die Methode nach Hvorslev (1954) dient der Abschätzung der Durchlässigkeit mittels slug- bzw. bail-Tests. Eine Beschreibung des Verfahrens findet sich z.B. in FETTER (2001: 193-197). Die Methode eignet sich auch für Pegel, deren Filterstrecke den Aquifer nicht vollkommen erschließen.

Besondere Beachtung ist der Pegelgeometrie zu schenken: Je nach Untergrundbeschaffenheit gelten die jeweiligen Werte für Radius und Länge der Filterstrecke mit oder ohne Filterkies. So ist z. B. bei sehr schlecht durchlässigem Untergrund als Radius der mit Filterkies verfüllte Bohrlochradius anzusetzen, bei sehr gut durchlässigem Untergrund nur der Radius des eigentlichen Filterrohrs. Gleiches gilt für die Länge der Filterstrecke.

Das Verhältnis von Länge der Filterstrecke zum Radius muss mindestens 8:1 betragen, damit mit folgender Formel die Durchlässigkeit berechnet werden kann:

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2Lt_0}$$

mit

K = Durchlässigkeit

r = Radius des Pegelrohrs, in dem sich der Wasserspiegel ändert

R = Radius des Filterrohrs

L = Länge der Filterstrecke

t_0 = Zeit, bis 37 % der ursprünglichen Änderung erreicht sind

Das Programm liefert bei dieser Methode nur einen K-Wert, und keine Transmissivität. Sollte der von Ihnen ausgewertete Pegel über die gesamte Mächtigkeit des Aquifers verfiltert sein, können Sie selbstverständlich auch eine Transmissivität angeben.

5.9.3 Bouwer & Rice

Die Methode von Bouwer & Rice (1976) eignet sich zur Bestimmung der Durchlässigkeit mittels Slug-Test in einem ungespanntem Aquifer. Die Methode kann sowohl für vollkommene wie auch für unvollkommene Brunnen angewendet werden.

Die Bestimmungsgleichung lautet:

$$K = \frac{r^2 \ln(R_e / r_w)}{2L} \frac{1}{t} \ln \frac{h_0}{h_t}$$

mit

r = Radius des Pegelrohrs, in dem sich der Wasserspiegel ändert

r_w = horizontaler Abstand von der Brunnenmitte zum ungestörten Aquifer, wirksamer Brunnenradius; Hydro Tec verwendet R (Filterradius) oder r_w (wenn selektiert, s. Brunnen Daten eingeben)

R_e = Reichweite des Trichter, empirische ermittelter Wert, s.u.

L = Länge der Filterstrecke

h_0 = Spiegelhöhe im Brunnen bei $t_0=0$

h_t = Spiegelhöhe im Brunnen bei $t > t_0$

Zur Bestimmung von R_e entwickelten Bouwer & Rice folgende Gleichungen:

Für unvollkommene Brunnen:

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1,1}{\ln(b/r_w)} + \frac{A + B \ln[(D-b)r_w]}{L/r_w} \right]$$

Für vollkommene Brunnen

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1,1}{\ln(b/r_w)} + \frac{C}{L/r_w} \right]^{-1}$$

Die dimensionslosen Parameter A, B und C können als Funktion von L/r_w einem Graphen entnommen werden, den Sie der Originalliteratur entnehmen können.

5.9.4 Dagan

Der Anwendungsbereich der Dagan (1978) Methode entspricht der Bouwer & Rice (1976) Methode, d.h. ungespannter Aquifer und vollkommener oder unvollkommener Brunnen. Als Bedingung gilt weiterhin das $L/r_w > 50$ sein sollte.

Die Bestimmungsgleichung lautet

$$K = \frac{r^2 (1/P)}{2Lt_0}$$

mit

K = Durchlässigkeit

r = Radius des Pegelrohrs, in dem sich der Wasserspiegel ändert

L = Länge der Filterstrecke

t_0 = Zeit, bis 37 % der ursprünglichen Änderung erreicht sind

P = dimensionloser Dagan-Fließparameter. ("Dimensionless Discharge" in der Originalliteratur). Die Berechnung erfolgt numerisch wie von Dagan beschrieben.

5.9.5 Butler

Die Methode von Butler et al. (2003) eignet sich zur Auswertung von Slug-Tests im stark durchlässigen Untergrund bei unvollkommenen Brunnen. Sie kann sowohl bei freien wie auch bei gespannten Verhältnissen angewendet werden.

Butler definiert dazu die dimensionslose Wasserspiegeländerung w_d die wie folgt berechnet wird:

Für $C_D < 2$

$$w_d(t_d) = e^{-\frac{C_D}{2}t_d} \left[\cos(\omega_d t_d) + \frac{C_D}{2\omega_d} \sin(\omega_d t_d) \right]$$

Für $C_D = 2$

$$w_d(t_d) = e^{-t_d}(1 + t_d)$$

Für $C_D > 2$

$$w_d(t_d) = \left(\frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \right) [\beta_1 e^{\beta_2 t_d} - \beta_2 e^{\beta_1 t_d}]$$

mit

C_D = dimensionslose Dämpfung

g = Erdbeschleunigung

H_0 = Initiale Wasserspiegeländerung

L_e = effektive Länge der Wassersäule

t_D = dimensionslose Zeit

$$t_d = \sqrt{\frac{g}{L_e}} t$$

w = Wasserspiegeländerung gegenüber dem Ruhewasserspiegel

w_D = dimensionslose Wasserspiegeländerung = w/H_0

$$\beta_1 = -\frac{C_D}{2} - \omega_d \quad \beta_2 = -\frac{C_D}{2} + \omega_d$$

ω_d = dimensionloser Schwingungsparameter

$$\omega_d = \sqrt{\left| 1 - \left(\frac{C_D}{2} \right)^2 \right|}$$

Bei der Auswertung werden die Parameter C_D sowie das Verhältnis t_D/t so bestimmt, dass die Typkurve mit den Messwerten möglichst gut übereinstimmt. Der Durchlässigkeitsbeiwert K berechnet sich für den gespannten Aquifer nach HVORSLEV bzw. für den ungespannten Aquifer nach BOUWER & RICE.

Ungespannter Aquifer - BOUWER & RICE:

$$K = \frac{t_D}{t} \frac{r^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2LC_D}$$

Gespannter Aquifer - HVORSLEV:

$$K = \frac{t_D}{t} \frac{r^2 \ln\left[\frac{L}{2r_w} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{2r_w}\right)^2}\right]}{2LC_D}$$

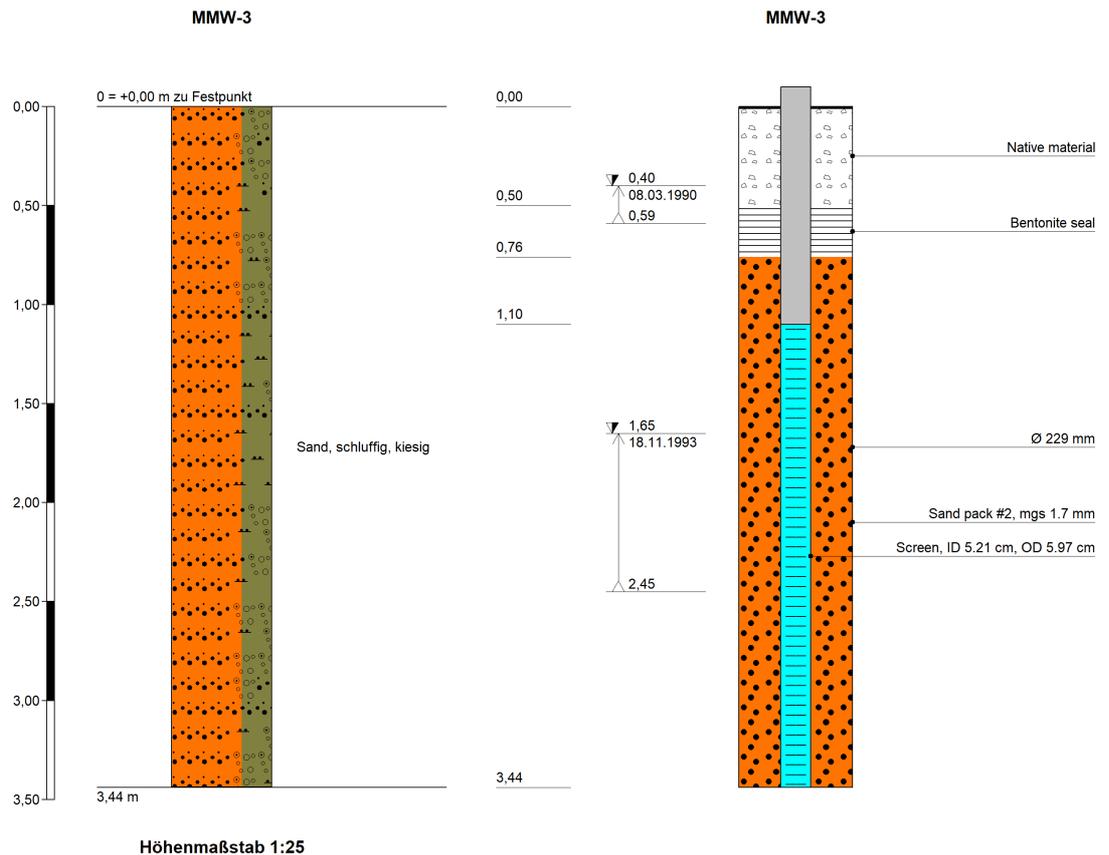
Die Definitionen von R_e , r , r_w und L finden sich im Kapitel Bouwer & Rice.

5.9.6 Wirksamen Radius bestimmen

Anwendungsbereich:

- Freier Aquifer
- Bail-Test
- Volumen des Verdrängungskörpers ist bekannt
- Wasserspiegeländerung auf Höhe des im Filterkieses im Ringraum

Beim Bail-Test im Freien Aquifer stammt in der Anfangsphase ein Großteil des Wassers aus dem Ringraum (Filterkies) der Messstelle. Binkhorst & Robbins stellten ein Verfahren vor, das diesen Effekt zur Bestimmung des dränbaren Porenvolumens nutzt.



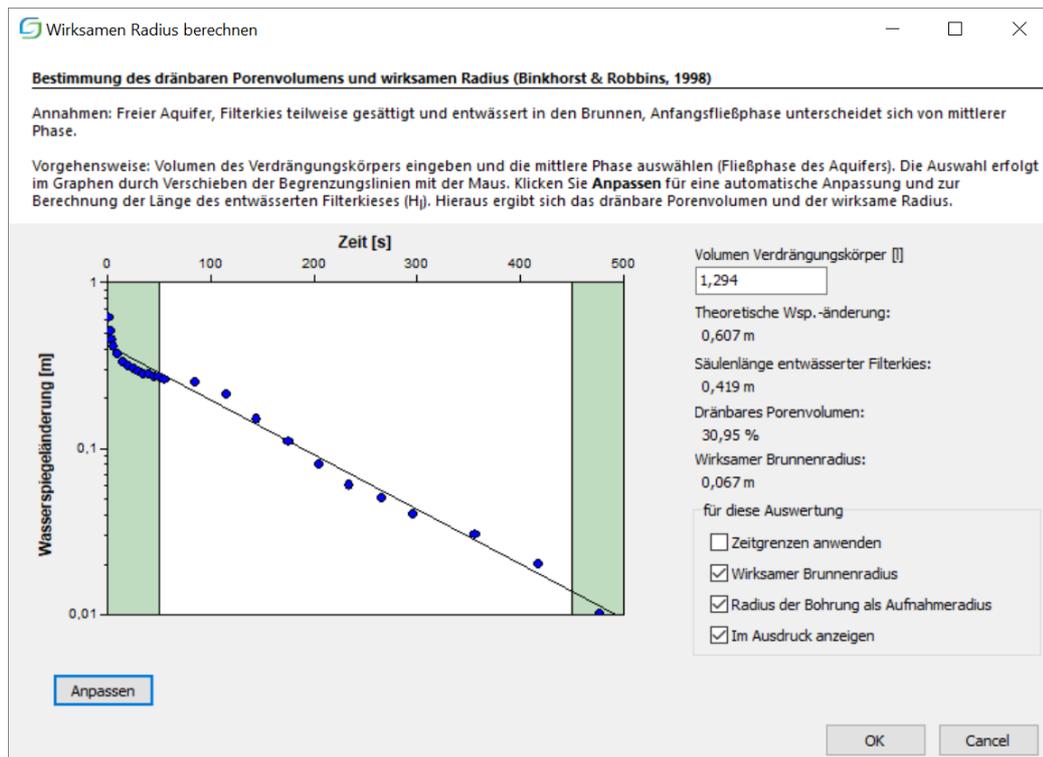
Die Abbildung oben zeigt links den Untergrund und rechts den Ausbau der Messstelle. Es sind die Wasserstände von 2 Bail-Tests eingezeichnet:

1. Die oberen Wasserstände symbolisieren einen Bail-Test mit initialem Wasserstand nach Entfernen des Verdrängungskörpers von 0,59 m und den Anstieg auf 0,40 m (Ruhewasserstand). Dieser Test ist für das Verfahren nicht geeignet, da der Ringraum ("Sand pack #2") während des Versuchs nicht entwässert.
2. Die unteren Wasserstände zeigen einen initialen Wasserstand von 2,45 m und den Anstieg auf 1,65 m Ruhewasserstand. Die Messwerte dieses Versuchs zeigen den Effekt der Dränung des Ringraums.

Binkhorst & Robbins ist keine eigene Auswertmethode, die Berechnung der Durchlässigkeit erfolgt nach den "normalen" Methoden wie Hvorslev etc. Vielmehr ist es ein Verfahren um den wirksamen Radius zu bestimmen, welcher in diese Methoden als Parameter verwendet wird.

Anwendung im Programm

Bei Auswahl der Schaltfläche **Wirksamen Radius berechnen** erscheint das entsprechende Eingabefenster:



Sollten Angaben zur Brunnengeometrie fehlen erhalten Sie einen Hinweis. Nehmen Sie dann die fehlende Angabe auf der Seite **Slug-Test** vor und wiederholen den Vorgang.

Im Graphen (Zeit linear, Wsp-Änderung logarithmisch) lässt sich erkennen, ob die Messwerte sich nach der Modellvorstellung entwickeln, d.h. ob eine mittlere Fließphase erkennbar ist in der die Messpunkte auf einer Geraden liegen. Die grünen Bereiche am Anfang und Ende des Versuchs sind von der Anpassung ausgenommen. Sie können diese mit der linken Maustaste verschieben und mit **Anpassen** die Gerade berechnen lassen. Die Gerade lässt sich auch, wie in den Geradenlinienverfahren von Hydro Tec üblich, mit der linken Maustaste verschieben oder mit der rechten Maustaste rotieren.

Geben Sie das Volumen des Verdrängungskörpers an. Zusammen mit der Brunnengeometrie ergibt sich das dränbare Porenvolumen des Filterkieses und der wirksame Brunnenradius, die im Fenster angezeigt werden.

Die Optionen in der Gruppe **für diese Auswertung** haben folgende Bedeutung:

Zeitgrenzen anwenden: Die Anpassung der Zeitgrenzen die hier im Graphen vorgenommen wurden werden auch auf die Auswertung übernommen.

Wirksamer Brunnenradius: In den Auswertmethoden wird normalerweise r (definiert als Radius des Pegelrohrs in dem sich der Wasserspiegel ändert) verwendet. Dieses r wird in der Brunnentabelle angegeben. Wenn die **Wirksamer Brunnenradius** gewählt ist wird anstelle des r aus der Brunnentabelle der hier ermittelte Wert verwendet.

Radius der Bohrung als Aufnahmeradius: Die Auswertmethoden verwenden einen Radius R (Abstand Brunneachse zum Aquifer). Im Programm wird dieser in der Brunnentabelle angegeben. Wenn die Option markiert ist verwendet das Programm B (Radius der Bohrung) für die Auswertung.

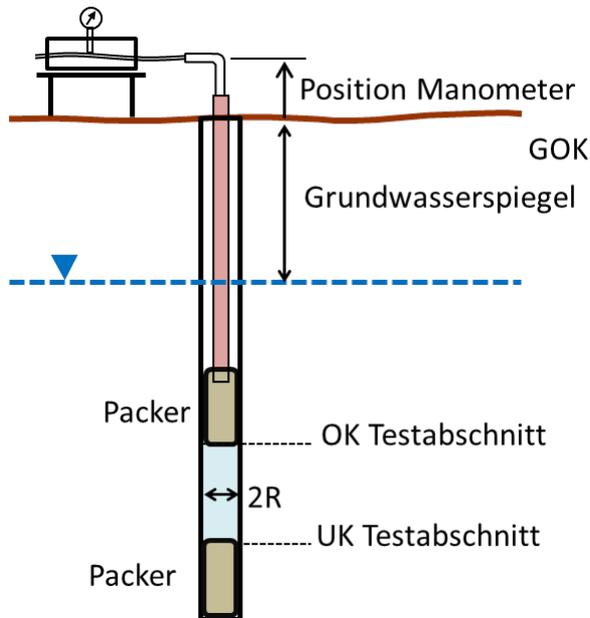
Im Ausdruck anzeigen: Die für die Berechnung angesetzten Radien werden mit angezeigt.

5.10 WD-Test

WD-Test-Auswertungen stehen in Hydro Tec Professional zur Verfügung.

Der WD-Test (auch Lugeon-Test genannt) ist ein in-situ Versuch zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes in Festgesteinen. Der Testabschnitt im Bohrloch wird durch Packer begrenzt und Wasser wird bei konstantem Druck verpresst. Dabei wird die Wassermenge gemessen die vom Untergrund aufgenommen wird. Üblicherweise werden 5 Druckstufen gefahren. Eine Beschreibung der Versuchsdurchführung befindet sich z.B. in ISO 22282-3.

Die folgende Abbildung zeigt einen typischen Versuchsaufbau mit Druckmessung an der Oberfläche.



Hydro Tec ist zur vollständigen Dokumentation eines WD-Tests nicht geeignet, sondern dient der Auswertung und Interpretation des Tests.

5.10.1 Auswertung

In Hydro Tec wird der stationäre Zustand jeder Druckstufe ausgewertet. Messungen die auf einen instationären Zustand hindeuten sollten nicht eingegeben werden. Der stationäre Zustand wird oft nach 10 Minuten erreicht.

Die Gleichung zur Berechnung der Durchlässigkeit K (hier synonym mit dem Durchlässigkeitsbeiwert k_f verwendet) lautet

$$K = \frac{Q \ln\left(\frac{R_0}{R}\right)}{2\pi HL}$$

mit

Q = Durchfluss

R_0 = Radius des Einflussbereichs; häufig wird hierfür L angesetzt

R = Radius des Bohrlochs

H = (Über-) Druck in m Wassersäule

L = Länge des Testabschnitts

Der Lugeonwert wird berechnet mit

$$\text{Lugeonwert} = \frac{Q}{L} \times \frac{P_0}{P}$$

mit

Q = Durchfluss [l/min]

L = Länge des Testabschnitts [m]

P_0 = Referenzdruck 1 MPa (=10 bar)

P = (Über-) Druck [MPa]

Die Konvertierung von P in H bzw. H in P erfolgt mit

$$H = \frac{P}{\rho g}$$

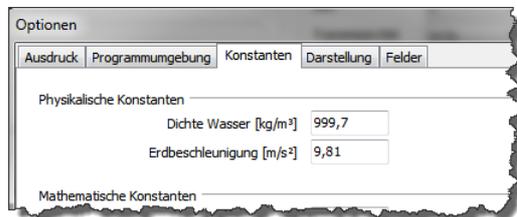
$$P = H \rho g$$

mit

g = Erdbeschleunigung, Standardwert 9,81 m/s²

= Dichte von Wasser, Standardwert 999,7 kg/m³

Diese Werte sind Programmeinstellungen und können unter **Extras/Optionen** auf der Seite **Konstanten** geändert werden.



5.10.2 Interpretation

Um die Interpretation des Tests zu vereinfachen zeigt Hydro Tec fünf typische Versuchsverläufe sowohl im Lugeon-Diagramm wie auch im P-Q-Diagramm an (s. Quiñones-Rozo 2010).

1. Laminare Strömung; die Lugeon-Werte sind gleich, unabhängig von P ; im P-Q-Diagramm bilden die Punkte eine Gerade; als repräsentativer Lugeon-Wert wird der Durchschnittswert aller Druckstufen verwendet.
2. Turbulente Strömung; die Lugeon-Werte nehmen mit zunehmendem P ab, der kleinste Lugeon-Wert wird bei größtem P erreicht, dieser wird als repräsentativer Lugeon-Wert interpretiert.
3. Aufweitung (Dilation); Lugeon-Werte ändern sich proportional mit P , der Untergrund reagiert elastisch; als repräsentativer Lugeon-Wert wird der des unteren/mittleren Druckbereichs angesetzt.
4. Auswaschung (wash-out); die Lugeon-Werte nehmen im Verlauf zu da durch den Versuch die Klüfte freigespült werden und sich die Durchlässigkeit erhöht; als repräsentativer Lugeon-Wert wird der größte Lugeon-Wert angesetzt.
5. Void Filling; die Lugeon-Werte nehmen im Verlauf ab da durch den Versuch entweder lokal begrenzte Klüfte gefüllt werden oder Kluftbeläge aufquellen wodurch sich die Durchlässigkeit reduziert; als repräsentativer Lugeon-Wert wird der kleinste Lugeon-Wert angesetzt.

Über diese fünf Grundtypen hinaus können selbstverständlich Kombination auftreten, z.B. Turbulent+Auswaschung.

Teil



6 Arbeiten mit Hydro Tec

In diesem Kapitel lernen Sie das Programm anhand praktischer Beispiele kennen. Der Schwierigkeitsgrad im Tutorial nimmt im Allgemeinen zu, d.h. die Übungen werden immer komplexer.

Die Beispiele stammen zum Großteil aus der Fachliteratur, z.T. sind es auch künstlich generierte Daten. Teilweise handelt es sich bei den Beispielen aber nicht um vollständige Pumpversuchsauswertungen, sondern nur um eine praktische Anleitung zur Durchführung bestimmter Aufgaben.

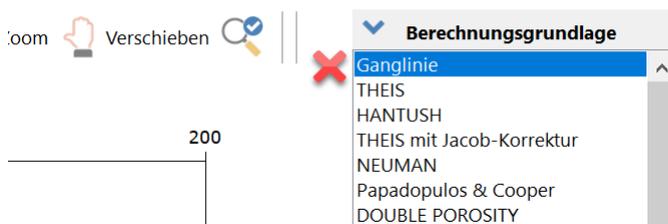
Bei der Installation wurde ein Ordner **Hydro Tec Pumpversuche** im Systemordner für öffentliche Dokumente angelegt. Die Dateien zu den folgenden Übungen befinden sich dort im Unterverzeichnis **Beispiele**.

6.1 Darstellung einer Ganglinie

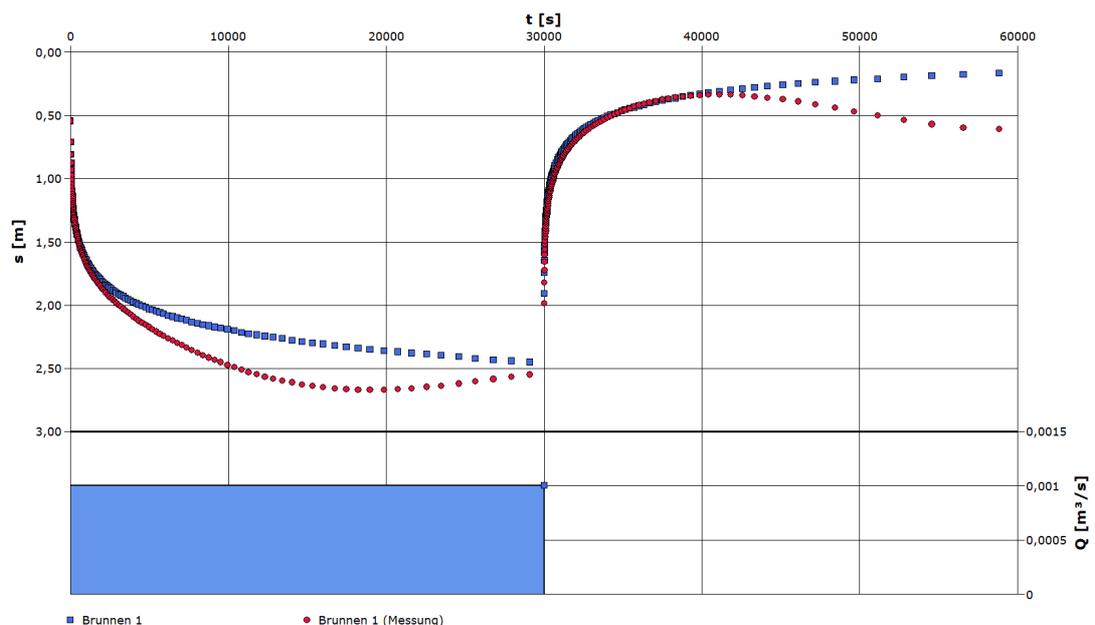
Die Ganglinie wird von Hydro Tec wie eine Auswertung behandelt, auch wenn keine Berechnung erfolgt. Es wird zeitliche Verlauf der Absenkung dargestellt, was insbesondere zusammen mit der Förderrate eine hervorragende graphische Dokumentation der Pumpversuchsdurchführung darstellt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die gemessene Absenkung zusammen mit der korrigierten Absenkung anzuzeigen.

Wie wird die Ganglinie erstellt?

Um die Ganglinie anzuzeigen klicken Sie im Panel **Berechnungsgrundlage** auf Ganglinie.



Daraufhin werden die Ergebnispanels ausgeblendet und es stehen weitere Optionen im Panel **Anzeigen** zur Verfügung (s.u.).



Die Abbildung oben zeigt die Ganglinie eines einstufigen Pumpversuchs mit Wiederanstiegsphase. Die Förderrate betrug 1 l/s und es wurde bis 30.000 s gepumpt. Die maximale Absenkung wurde gegen 20.000 s beobachtet (rote Datenpunkte). Die beobachteten Messwerte wurden aber sowohl einer periodischen Korrektur wie auch einer Trendkorrektur unterworfen. Die daraus resultierenden Absenkungen zeigen die blauen Datenpunkte.

Was wird dargestellt?

Im Panel **Anzeigen** wird ausgewählt, was dargestellt wird:

Anzeigen	
Messwerte	<input checked="" type="checkbox"/>
Ableitung der Messwerte	<input type="checkbox"/>
Originaldaten	<input type="checkbox"/>
Förderrate	<input checked="" type="checkbox"/>
Ableitung...	...

1. Messwerte (Absenkung)
2. Ableitung der Messwerte
3. Originaldaten, d.h. die Absenkung die gemessen wurde. Diese ist nur unterschiedlich von o.g. Messwerten, wenn eine Datenkorrektur vorgenommen wurde.
4. Förderrate

Wie wird die Ganglinie dargestellt?

Die Ganglinie verfügt über einige zusätzliche Einstellungen zur Darstellung. So befinden sich im Panel **Diagramm** die Optionen **Datenpunkte** und **Linie**. Damit werden die Darstellung der Symbole für die Datenpunkte bzw. die Verbindungslinien ein- und ausgestaltet.

Förderratenachse	
Beschriftung	Q
Minimum	Auto
Maximum	750
Zahlen anzeige	<input checked="" type="checkbox"/>
Zahlenformat	0.#####
Intervallanzahl	5
Gitterlinien	<input type="checkbox"/>
%-Anteil Höhe	40
Ausfüllen	<input checked="" type="checkbox"/>
Füllfarbe	■ LightGreen

Wird die **Förderrate** ebenfalls angezeigt erscheint das Panel **Förderratenachse**.

Hier befinden sich zusätzliche Einstellmöglichkeiten zu den bereits von der Zeit- bzw. Absenkungsachse bekannten Optionen. So kann z.B. der **%-Anteil der Diagrammhöhe** eingegeben werden, welcher von der Förderrate verwendet wird. Auch kann die Pumprate flächig mit einer bestimmten Farbe ausgefüllt werden. Diese ausgefüllte Darstellung ist nur bei einem Pumpbrunnen empfehlenswert, da sonst u.U. Informationen überdeckt werden können.

Übung

Datei: GANGLINIE

Literatur: Kruseman & DeRidder (1991:184f.)

Es handelt sich dabei um einen hypothetischen Pumpversuch, der als Beispiel zur Auswertung eines Stufenpumpversuchs dient. Die Messungen wurden an einem Piezometer im Abstand $r=5$ m vorgenommen.

Brunnendaten eingeben

Klicken Sie im Menü **Datei** auf **Neu**.

Überprüfen Sie, dass die Maßeinheiten für die **Längen** auf **Meter**, für die **Zeit** auf **Minute** und für die **Förderrate** auf **m³/d** eingestellt sind.

Legen Sie einen zweiten Brunnen an und nehmen Sie folgende Einstellungen vor:

	Bezeichnung	Brunnenfunktion	X [m]	Y [m]
1	Pegel 1	Beobachtungsbrunn	3477850	5616350
2	Brunnen 2	Pumpbrunnen	3477850	5616345

[Hier klicken um einen neuen Brunnen zu erstellen](#)

Die X,Y-Koordinaten sind Rechts-Hoch-Werte, deshalb die großen Zahlen.

Geben Sie als **Projektbezeichnung** *Tutorial* und als **Bezeichnung des Pumpversuchs** *Stufenpumpversuch* ein.

Förderrate eingeben

Wechseln Sie nun zur 2. Seite **Förderrate**. Markieren Sie **variabel** und tragen die 3 Pumpstufen ein:

Zeit [min] Q [m³/d]

30 500

80 700

130 600

Wasserspiegeldaten eintragen

Gehen Sie auf Seite **3 – Wasserspiegelmessungen**. Wählen Sie **Pegel 1** als Beobachtungsstelle und tragen **0** m für den **Ruhewasserspiegel** ein. Die folgende Tabelle sind die Messwerte:

Zeit [min] W-Sp. [m]

5 1,38

10 1,65

15 1,81

20 1,93

25 2,02

30 2,09

35 2,68

40 2,85

45 2,96

50 3,05

55 3,12

60 3,18

70 3,29

80 3,38

90 3,13

100 3,15

110 3,17

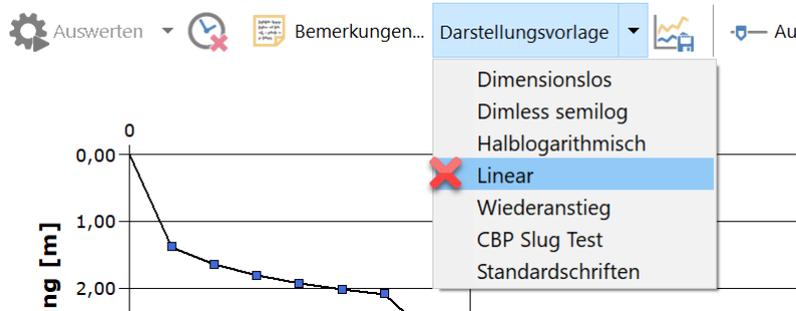
130 3,23

Ganglinie erstellen

Weiter geht es auf der Seite **4 – Auswertung**. Wählen Sie in der Liste **Messwerte von den Pegel 1** zur Darstellung aus und klicken im Panel **Berechnungsgrundlage** auf **Ganglinie**.

Neue Auswertungen werden immer als Theis-Auswertung angelegt, so dass nun erst einmal auf die Ganglinie umgestellt werden muss.

Eine Ganglinie wird normalerweise mit linearer Achsenskalierung angezeigt. Wählen Sie deshalb die Darstellungsvorlage **Linear** aus.



Um die Förderrate anzuzeigen markieren Sie die Option **Förderrate** im Panel **Anzeigen**, welches sich als Letztes in der Pannelleiste befindet.

Anzeigen	
Messwerte	<input checked="" type="checkbox"/>
Ableitung der Messwerte	<input type="checkbox"/>
Originaldaten	<input type="checkbox"/>
Förderrate	<input checked="" type="checkbox"/>
Ableitung...	...

Nun erscheint unterhalb der Panels **Zeit-** und **Absenkungsachse** das Panel **Förderratenachse**. Nehmen Sie die Einstellungen wie folgt vor:

Förderratenachse	
Beschriftung	Q
Minimum	Auto
Maximum	750
Zahlen anzeige	<input checked="" type="checkbox"/>
Zahlenformat	0.#####
Intervallanzahl	5
Gitterlinien	<input type="checkbox"/>
%-Anteil Höhe	40
Ausfüllen	<input checked="" type="checkbox"/>
Füllfarbe	LightGreen

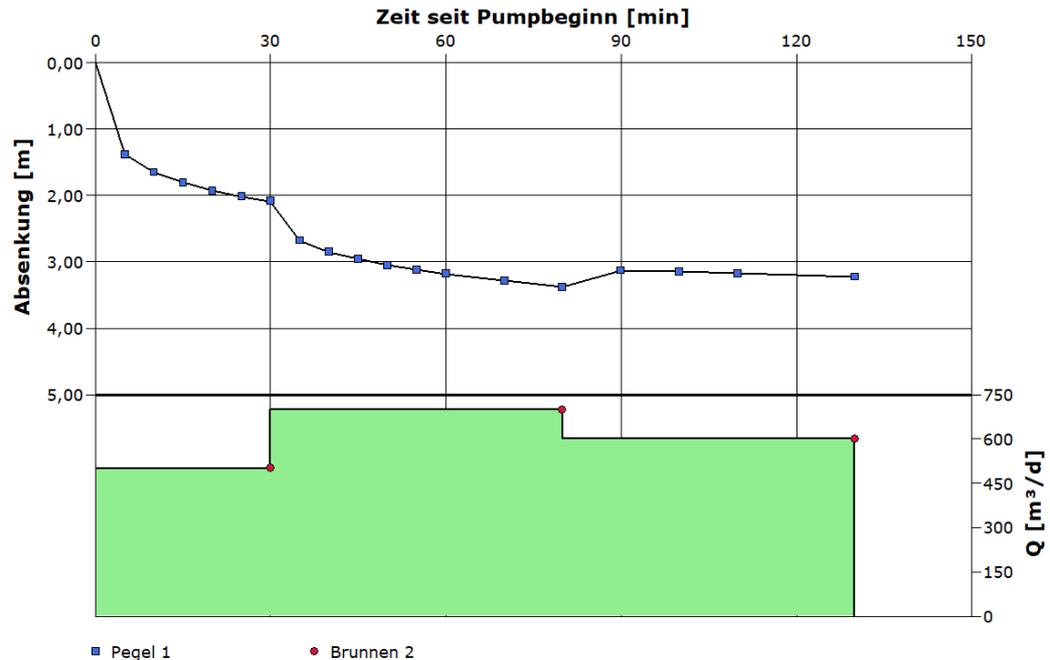
Maximum sollten Sie manuell auf $750 \text{ m}^3/\text{d}$ setzen, da das Programm im Auto-Modus die Achse auf $700 \text{ m}^3/\text{d}$ einstellt und dadurch die Linie der Förderrate genau am Rand verläuft.

Auch für die **Zeitachse** können Sie das **Maximum** manuell auf 150 min setzen um den Bereich besser auszunutzen. Tragen Sie als **Beschriftung** *Zeit seit Pumpbeginn* ein. Das Programm ergänzt die Maßeinheit automatisch.

Die Beschriftung der Förderratenachse erscheint rechts am Graphen und wird abgeschnitten. Um dies zu ändern gehen Sie zum Panel **Diagramm** und geben 20 mm für den **rechten Rand** ein.

Diagramm	
Breite [mm]	Auto
Höhe [mm]	Auto
Linker Rand [mm]	20
Oberer Rand [mm]	15
Rechter Rand [mm]	20 ✘
Unterer Rand [mm]	10

Ihr Diagramm sollte nun wie folgt aussehen:



Hiermit ist die Übung zum Erstellen einer Ganglinie beendet.

6.2 Auswertung im gespannten Aquifer

Datei: GESPANNT

Literatur: Langguth & Voigt (2004):237 ff.

Dieser Pumpversuch wird im Lehrbuch als Berechnungsbeispiel zur Theis-Auswertung verwendet. Es handelt sich um Daten die sich relativ einfach auswerten lassen, da keinerlei Sondereinflüsse auftreten.

Brunnendaten eingeben

Klicken Sie im Menü **Datei** auf **Neu**.

Überprüfen Sie, dass die Maßeinheiten für die **Längen** auf **Meter**, für die **Zeit** auf **Sekunde** und für die **Förderrate** auf **m³/s** eingestellt sind.

Geben Sie *Tutorial* als **Projektbezeichnung** und *Breyell/Niederrhein* als **Bezeichnung des Pumpversuchs** ein.

In der Tabelle **Brunnen und Messstellen** belassen Sie den Namen für den Pumpbrunnen auf Brunnen 1, geben aber für die **X-** und **Y-Koordinate** jeweils *0* ein.

Erstellen Sie 3 weitere Brunnen indem Sie mit der Maus auf den entsprechenden Link im unteren Bereich der Tabelle klicken. Diese neuen Brunnen werden automatisch als Beobachtungsbrunnen im aktuellen Pumpversuch angelegt. Ändern Sie die Namen und Lagekoordinaten wie folgt ab:

Bezeichnung	Brunnenfunktion	X-Koordinate	Y-Koordinate
Pegel 11 b	Beobachtungsbrunnen	7,4	0
Pegel 3 b	Beobachtungsbrunnen	23	0
Pegel 6 b	Beobachtungsbrunnen	139,6	0

In der Literaturquelle ist nur der radiale Abstand vom Pumpbrunnen angegeben, welcher zur Berechnung selbstverständlich vollkommen ausreichend ist. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Beobachtungspiegel einfach auf der X-Achse im jeweiligen Abstand platziert sind.

Förderrate eingeben

Gehen Sie nun auf die Seite **2 – Förderrate**. Die Förderrate während dieses Pumpversuchs war **konstant** mit **0,0267 m³/s**. Da wir aber im Folgenden auch den Wiederanstieg auswerten werden muss das Programm über die Pumpdauer informiert werden. Wählen Sie deshalb **Variabel** und geben **14600 s** und **0,0267 m³/s** in die Tabelle ein.

1 - Pumpversuch 2 - Förderrate 3 - Wasserspiegel 4 - Auswertung 5 - Lageplan 6 - Ausdruck

Brunnen 1

Förderrate [m³/s]

Konstant

Variabel

Beim Erstellen neuer Auswertungen, behandeln als

Stufenpumpversuch

Konstante Förderrate (Durchschnitt = 0,0267 m³/s)
Kann auch in den Modellannahmen geändert werden

Zeit-Förderrate

	Zeit [s]	Förderrate [m ³ /s]
1	14600	0,0267
2		

0,03

Beim Erstellen neuer Auswertungen behandeln als sollte auf **Stufenpumpversuch** stehen. Dies erspart ein späteres Umstellen der Modellannahmen bei der Auswertung des Wiederanstiegs.

Messungen eingeben oder importieren

Weiter geht es auf der Seite **3 – Wasserspiegelmessungen**. Wählen Sie aus der Liste oben links den jeweiligen Beobachtungspiegel aus und geben **0 m** für den **Ruhewasserstand** ein. Sie können nun die Messwerte aus folgender Tabelle eingeben oder diese importieren.

Pegel 11 b					
Zeit [s]	Absenkung [m]	Zeit [s]	Absenkung [m]	Zeit [s]	Absenkung [m]
17	0,3	1080	1,64	15332	0,65
21	0,4	1440	1,71	15600	0,59
27	0,5	2100	1,79	15810	0,55
35	0,7	3000	1,86	16180	0,47
53	0,93	3900	1,9	16400	0,44
85	1,03	5400	1,99	17300	0,35
168	1,2	8300	2,07	17900	0,3
220	1,28	14600	2,18	18560	0,26
281	1,35	14765	1,03	19220	0,23
330	1,4	14823	0,95	20700	0,17
450	1,47	14871	0,9	23300	0,09
540	1,5	14920	0,85		
720	1,56	15235	0,69		

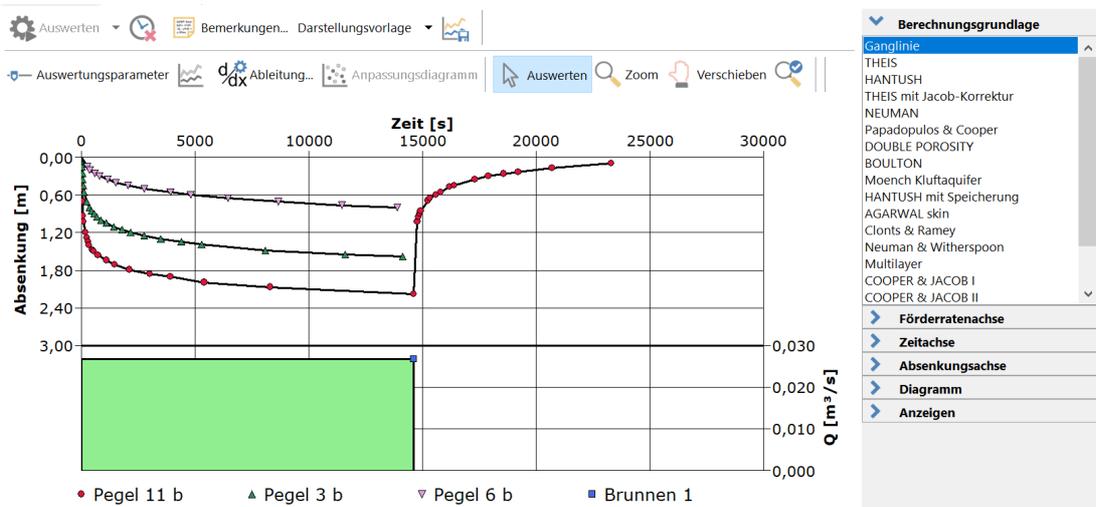
Pegel 3 b					
Zeit [s]	Absenkung [m]	Zeit [s]	Absenkung [m]	Zeit [s]	Absenkung [m]
12	0,05	346	0,8	2160	1,2
18	0,1	434	0,85	2760	1,25
22	0,15	549	0,9	3480	1,3
36	0,25	689	0,95	4380	1,35
54	0,35	861	1	5280	1,39
81	0,45	1080	1,05	8100	1,48
122	0,55	1420	1,11	11600	1,55
226	0,7	1800	1,15	14150	1,58
Pegel 6b					
Zeit [s]	Absenkung [m]	Zeit [s]	Absenkung [m]	Zeit [s]	Absenkung [m]
240	0,14	1500	0,4	6450	0,65
360	0,2	2040	0,45	8650	0,71
600	0,25	2760	0,5	11450	0,76
780	0,29	3900	0,55	13900	0,8
1140	0,35	4800	0,59		

Zum Importieren klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Eingabetabelle und wählen **Wasserspiegelmessungen** aus dem Kontextmenü. Die Dateien heißen wie die Pegel - also PEGEL11B.XLS, PEGEL3B.XLS und PEGEL6B.XLS.

Ganglinie erstellen

Es empfiehlt sich, für jeden Pumpversuch eine Ganglinie anzulegen. Dadurch kann insbesondere überprüft werden, ob die Reaktion des Wasserspiegels auf Förderratenänderungen synchron laufen. Im Beispiel wird die Pumpe bei 14600 s abgeschaltet, so dass danach ein Wiederanstieg des Wasserspiegels erfolgt, der aber nur in Pegel 11 b erfasst wurde.

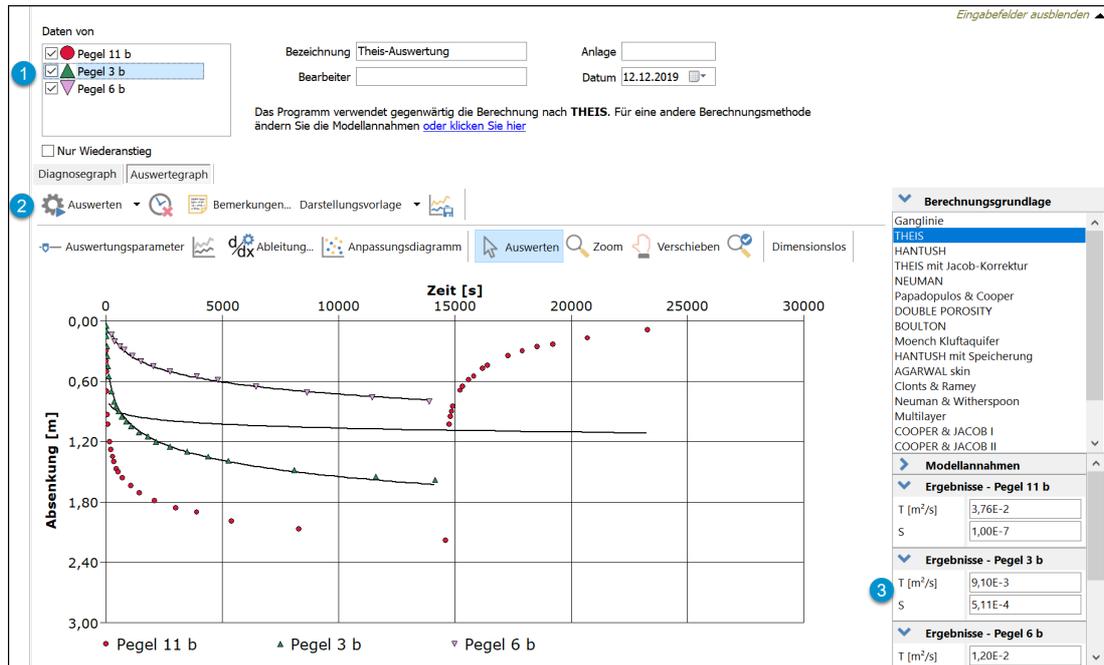
Wechseln Sie nun auf die Seite **4 - Auswertung** und ändern dort die Berechnungsgrundlage auf Ganglinie. Übernehmen Sie die Daten aus allen drei Pegeln in den Graphen. Blenden Sie die Förderrate ein und formatieren Sie ggf. den Graph in der vorangegangenen Übung Darstellung einer Ganglinie beschrieben. Das Ergebnis sollte ungefähr so aussehen:



Auswertung der Absenkung vornehmen

Nachdem Sie die Ganglinie erstellt haben legen Sie mit **Auswertung/Neue Auswertung erstellen** eine weitere Auswertung an. Beim Anlegen einer neuen Auswertung werden automatisch alle vorhandenen Messwerte in die Auswertung übernommen. Die Modellannahmen zur Berechnung der Transmissivität und des Speicherkoeffizienten entsprechen der Theis-Methode, benennen Sie deshalb die **Bezeichnung** in *Theis-Auswertung* um.

Auf der rechten Seite des Graphen werden die Ergebnis-Panels für die jeweiligen Messstellen angezeigt. Als Vorgabe verwendet Hydro Tec $T=10^{-3}$ m²/s und $S=10^{-4}$. Sie können nun diese Werte manuell ändern oder sich vom Programm eine optimierte Anpassung der Modellfunktion an die Messwerte errechnen lassen. Für letzteres wählen Sie wiederum in der Liste oben links die Messstelle aus (1), z.B. **Pegel 3 b**, und klicken dann auf die Schaltfläche **Auswerten** (2) oberhalb des Graphen. Hydro Tec errechnet daraufhin die Werte von T und S für diese Messstelle (3).



Die automatisch Anpassung funktioniert für Pegel 3 b und Pegel 6 b problemlos, nur für Pegel 11 b erhalten Sie kein sinnvolles Ergebnis, da dort noch die Messwerte des Wiederanstiegs berücksichtigt werden. Um die Auswertung auf die Absenkungsphase zu beschränken klicken Sie links im Bereich **Weitere Aufgaben** auf **Zeitgrenzen** (dieser Befehl steht auch im Menü **Auswertungen** zur Verfügung). Im Fenster **Zeitgrenzen zur Auswertung** wählen Sie **vor** und tragen **14600 s** ein, was in diesem Fall der Pumpdauer entspricht.

Zeitgrenzen zur Auswertung ✕

Zeitgrenzen - Messwerte einschließlich [s]

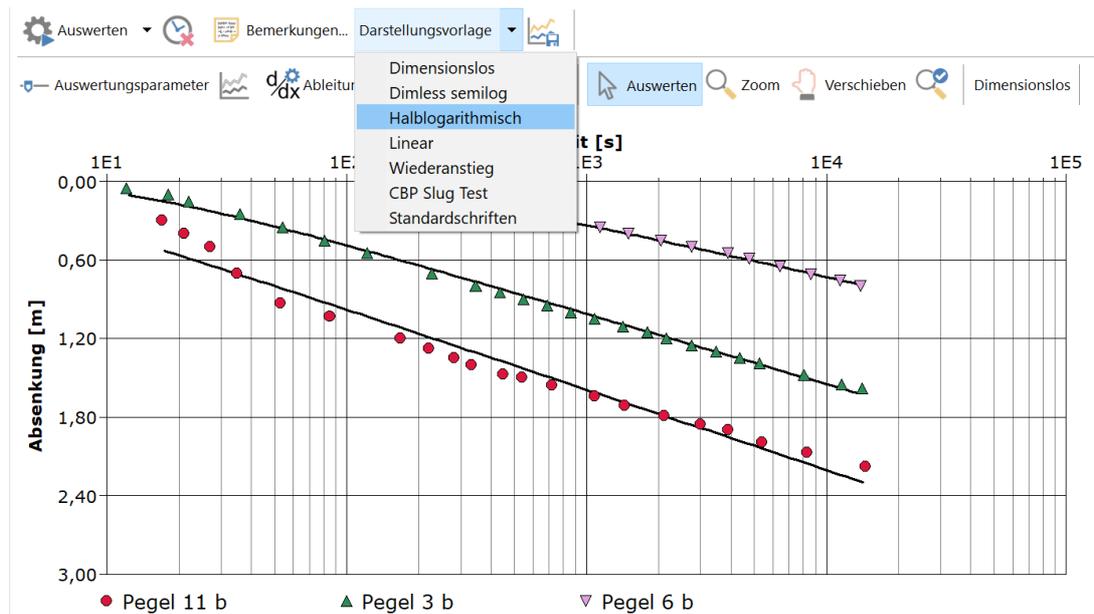
Alle

Vor

Nach

Zwischen und

Wenn Sie das Fenster geschlossen haben klappt nun auch die automatisch Anpassung von Pegel 11 b. Wählen Sie als Darstellungsvorlage **Halblogarithmisch** aus um die folgende Darstellung zu erhalten:

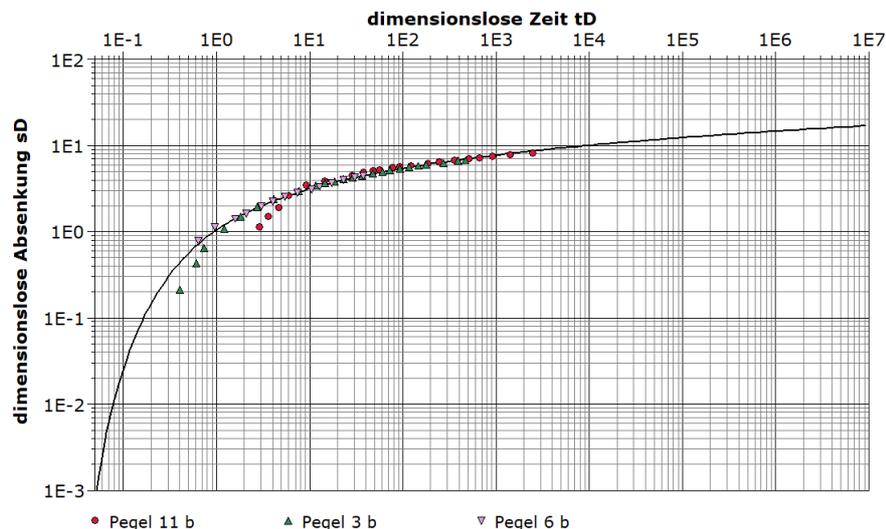


Darstellungsvorlagen enthalten einen ganzen Satz in Informationen zur Darstellung und ersparen es, diese aufwendig über die einzelnen Panels (Zeitachse, Absenkungsachse, Diagramm) einzutragen.

Zur Verdeutlichung: die obige halblogarithmische Darstellung ist nicht das Cooper & Jacob Geradlinienverfahren - die Berechnung erfolgt nach Theis!

Die "klassische Ansicht"

Traditionell werden Theis-Auswertungen doppellogarithmisch dargestellt mit $W(u)$ bzw. s auf der Ordinate und $1/u$ bzw. t/r^2 auf der Abszisse. Für diese Art der Darstellung klicken Sie auf die Schaltfläche **Dimensionslos** oberhalb des Graphen.



Beim Umschalten auf **Dimensionslos** verwendet das Programm die in den Voreinstellungen angegebene Darstellungsvorlage.

Geradlinienverfahren anwenden

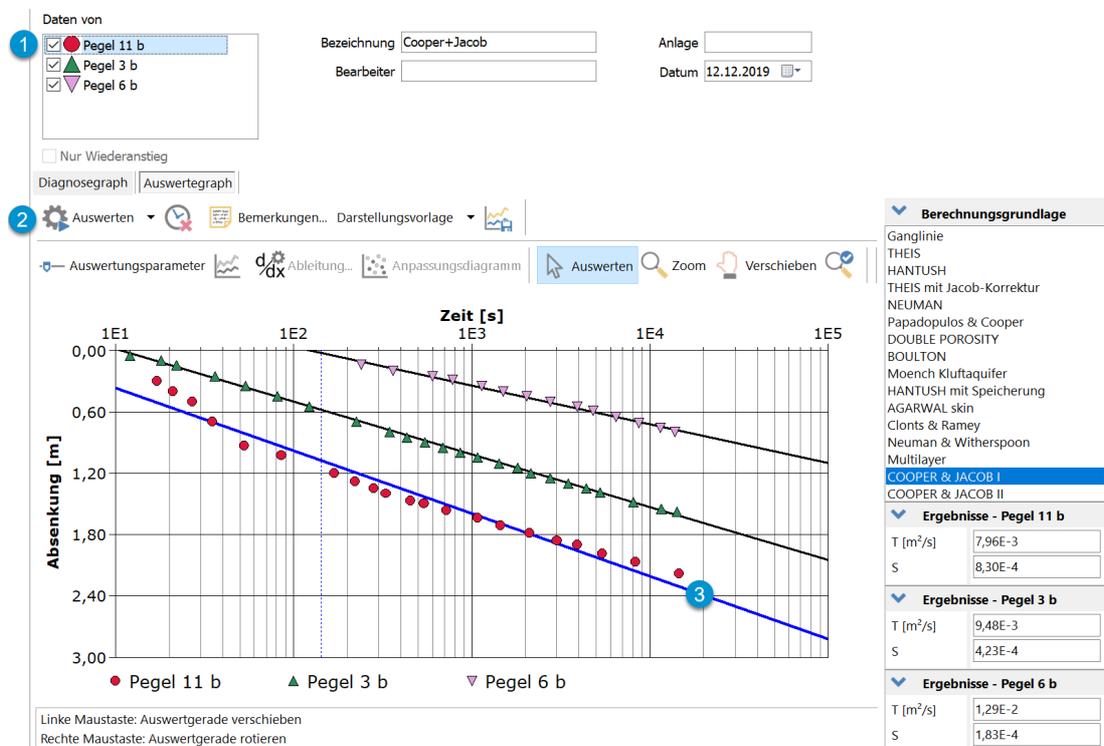
Da die Messwerte wie wir oben gesehen haben in der halblogarithmischen Darstellung annähernd auf einer Geraden liegen bietet es sich an das Cooper & Jacob-Geradlinienverfahren anzuwenden.

Legen Sie dazu eine neue Auswertung an (Auswertung/Neue Auswertung erstellen) und geben als Zeitgrenze wieder 14600 s ein (Auswertung/Zeitgrenzen festlegen) um die Wiederanstiegsmessungen an Pegel 11 b zu entfernen.

Klicken Sie dann im Panel Berechnungsgrundlage auf **COOPER & JACOB I** um das das Zeit-Absenkungs-Verfahren auszuwählen. Sollten nicht alle Messpunkte im Graphen auftauchen überprüfen Sie die **Minimum/Maximum**-Einstellungen in den Panels **Zeitachse** und **Absenkungsachse**.

Um **Minimum** oder **Maximum** auf **Auto** zu stellen müssen Sie einfach nur etwas eingeben was keine Zahl ist, z.B. ein Leerzeichen oder auch einfach gar nichts.

Zur automatischen Anpassung der Auswertgeraden markieren Sie in der Liste **Messwerte von** (1) einen Pegel und klicken auf **Auswerten** (2). Wiederholen Sie das für die beiden anderen Pegel. Der jeweils in der Liste ausgewählte Pegel wird angepasst. Die aktive Auswertgerade wird im Graphen blau hervorgehoben (3) und kann mit der Maus verschoben oder rotiert werden.



Wiederanstieg auswerten

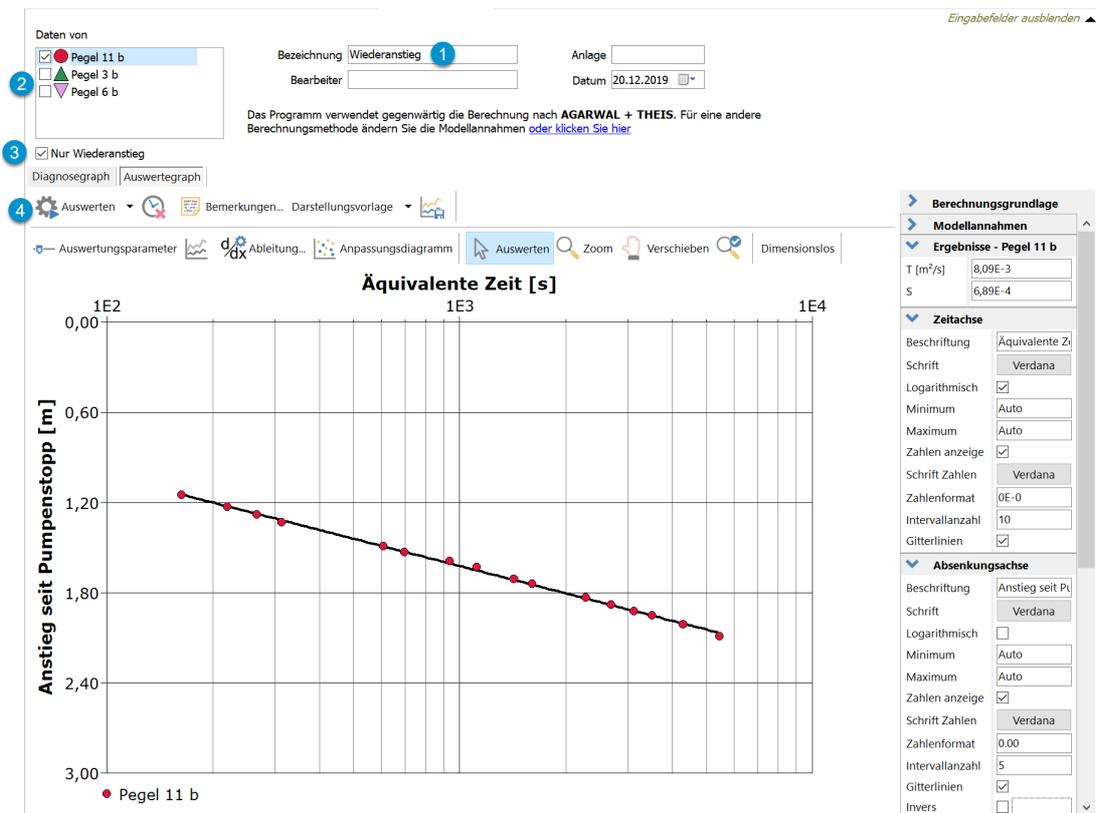
Klicken Sie im Menü **Auswertung** auf **Neue Auswertung** und geben als **Bezeichnung** *Wiederanstieg* ein (1).

In der Liste **Daten von** entfernen Sie die Haken vor **Pegel 3 b** und **Pegel 6 b**, damit diese im Graphen nicht angezeigt werden (2).

Markieren Sie **Nur Wiederanstieg** (3). Daraufhin wird auf der X-Achse die **Äquivalente Zeit** nach Agarwal (1980) aufgetragen.

Zur automatischen Anpassung markieren Sie **Pegel 11 b** und klicken auf **Auswerten** (4) im Auswert-Toolbar.

Der nachstehende Graph wurde halblogarithmisch formatiert und die Achsenbeschriftungen wurden angepasst (**Minimum, Maximum, Zahlenformat** im Panel **Zeitachse** bzw. **Absenkungsachse**).



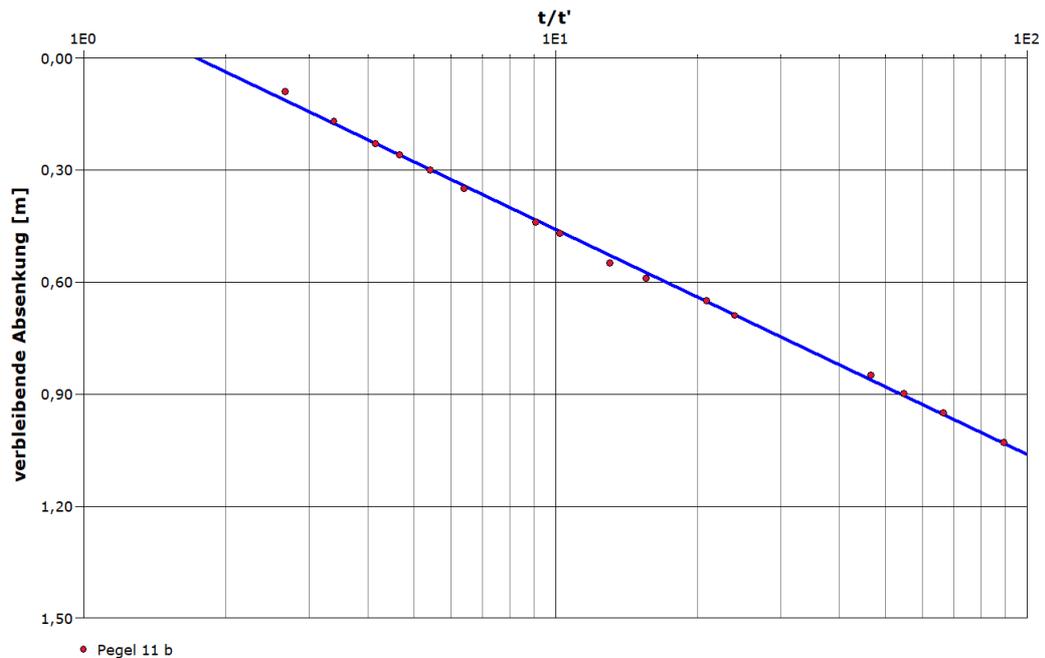
Wiederanstieg nach Theis und Jacob

Klicken Sie im Menü **Auswertung** auf **Neue Auswertung** und geben als **Bezeichnung** *Theis und Jacob* ein.

In der Liste **Messwerte von** entfernen Sie die Haken vor **Pegel 3 b** und **Pegel 6 b**, damit diese im Graphen nicht angezeigt werden.

Im Panel **Berechnungsgrundlage** klicken Sie auf **THEIS Wiederanstieg** um die Methode auszuwählen. Hydro Tec formatiert den Graph dann automatisch halblogarithmisch und setzt für die Zeitachse die Beschriftung t/t' ein. Das Panel **Modellannahmen** verschwindet, da die Methode diese impliziert.

Zur automatischen Anpassung markieren Sie **Pegel 11 b** und klicken auf **Auswerten** im Auswert-Toolbar. Genau wie beim Cooper & Jacob Geradlinienverfahren können Sie die Auswertgerade mit der Maus verschieben oder rotieren um eine eigene Anpassung vorzunehmen.



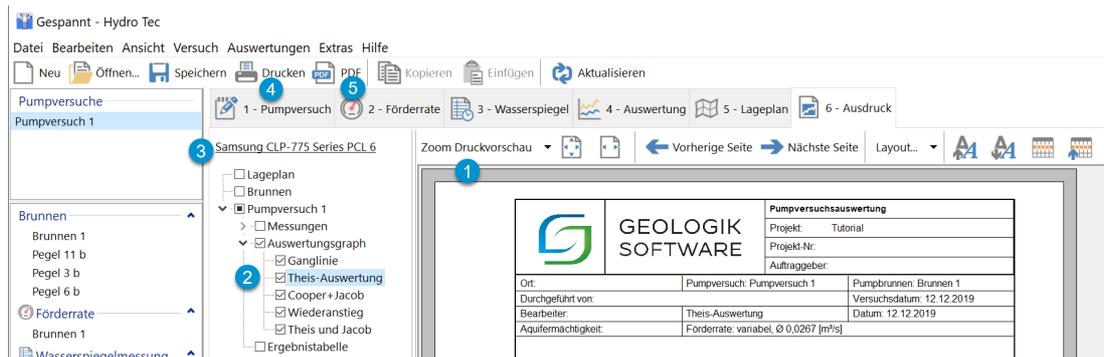
Auswertungen ausdrucken

Gehen Sie nun zur Registerseite **Ausdruck**. Rechts wird die Druckvorschau des gewählten Berichts angezeigt. Die Vergrößerung der Druckvorschau wird mit Zoom Druckvorschau eingestellt (1). Dabei stehen sowohl %-Angaben als auch die Optionen **Seite** und **Seitenbreite** zur Verfügung.

Links von der Druckvorschau wählen Sie den gewünschten Bericht aus. Versehen Sie die Berichte mit einem Haken, wenn Sie diese ausdrucken möchten (2).

Um einen bestimmten Drucker auszuwählen oder die Druckeinstellungen zu verändern klicken Sie auf den angezeigten Drucker (3).

Wenn sie den Umfang des Ausdrucks festgelegt haben klicken Sie auf die Schaltfläche **Drucken** (4). Ist die PDF-Unterstützung eingeschaltet können Sie auch direkt als PDF ausgeben (5).



Zusammenfassung

Sie haben in dieser Übung gelernt wie man

- ein neues Projekt und einen neuen Pumpversuch anlegt.
- Brunnen erstellt und deren Lagekoordinaten eingibt
- eine variable Förderrate festlegt
- Wasserspiegelmessungen eingibt und aus einer Datei importiert

- eine Auswertung erstellt, Messungen in die Auswertung hineinwählt und eine automatische Anpassung vornimmt
- den Wiederanstieg auswertet
- Darstellungsvorlagen lädt
- Berichte ausdruckt

6.3 Auswertung im leaky-Aquifer

Datei: LEAKY

Literatur: Fetter, C.W. (2001): 179 f.

Erstellen Sie eine neue Datei in Hydro Tec (**Datei/Neu**).

Rahmendaten eingeben

Überprüfen Sie, dass die Maßeinheiten für die **Längen** auf **Feet (ft)**, für die **Zeit** auf **Minute (min)**, für die **Förderrate** auf **U.S. gal/min** und für die **Transmissivität** auf **ft²/d** eingestellt sind.

Geben Sie *Tutorial leaky Aquifer* als Projektbezeichnung und *WALTON (1960)* als Bezeichnung des Pumpversuchs ein.

Geben Sie die **Aquifermächtigkeit** mit 14 ft an.

In der Tabelle **Brunnen und Messstellen** belassen Sie den Namen für den Pumpbrunnen auf Brunnen 1, geben aber für die **X-** und **Y-Koordinate** jeweils 0 ein.

Erstellen Sie einen weiteren Brunnen indem Sie mit der Maus auf den entsprechenden Link im unteren Bereich der Tabelle klicken. Geben Sie als **Bezeichnung** *Pegel 96*, für die **X-Koordinate** 96 ft und als **Y-Koordinate** 0 ein. Dieser Brunnen wird automatisch als Beobachtungsbrunnen angelegt.

Förderrate eingeben

Wechseln Sie nun auf die Seite **2 - Förderrate** und geben sie diese mit **konstant** 25 U.S. gal/min an.

Wasserspiegelmessungen einlesen

Weiter geht es auf der Seite **3 – Wasserspiegelmessungen**. Markieren Sie **Pegel 96** im Listenfeld und geben 0 als **Ruhewasserspiegel** an.

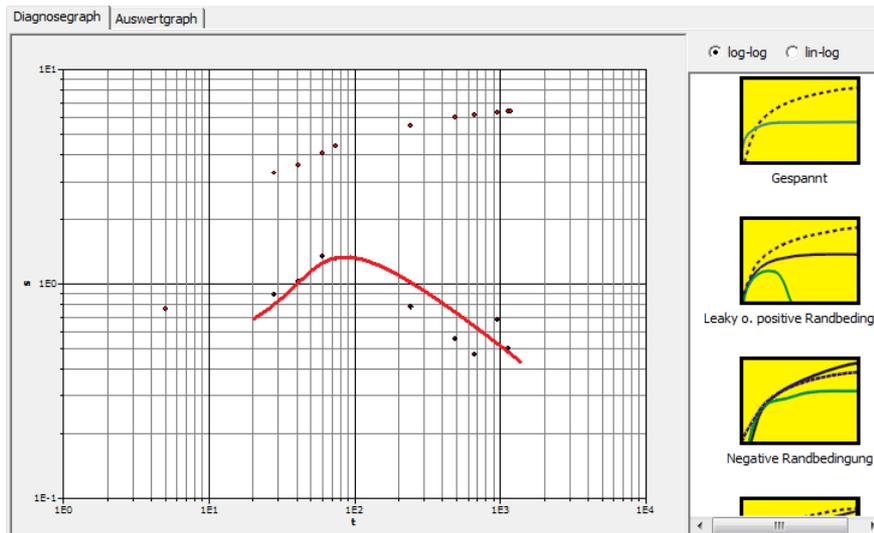
Klicken Sie nun auf die Schaltfläche **Importieren** oberhalb der Messwerttabelle. Im Beispielverzeichnis befindet sich die Datei **Pegel 96.XLS**. Wählen Sie diese aus und wählen **Öffnen**. Die Messwerte werden eingelesen und im Graphen recht dargestellt.

Aquifertyp feststellen

Wechseln Sie auf die Seite **4 – Auswertung**. Dort können Sie zwischen **Diagnosegraph** und **Auswertgraph** wählen; lassen Sie sich den **Diagnosegraph** anzeigen.

Unter **Messwerte von** muss nun der **Pegel 96** ausgewählt werden, um die Datenpunkte im Graphen anzuzeigen. Lassen Sie sich die Daten doppellogarithmisch vom Programm anzeigen. Rechts sehen Sie die typischen Verläufe unterschiedlicher Aquifertypen.

Das es sich in diesem Beispiel um einen leaky Aquifer handelt ist nicht sofort ersichtlich. Erst die Betrachtung des Ableitung liefert den entscheidenden Hinweis: Hier zeigt sich die typische „Sattelstruktur“. Zur Verdeutlichung ist sie in unten stehender Bildschirmansicht hervorgehoben.



Aquiferparameter ermitteln

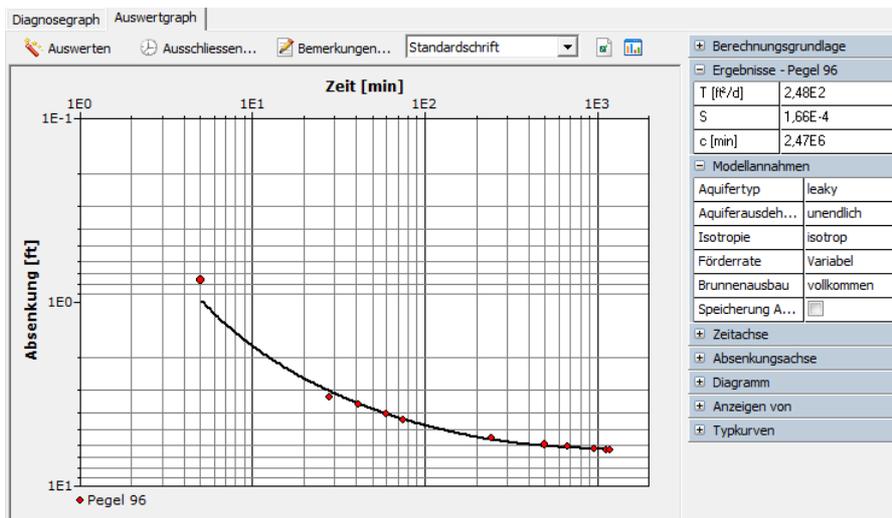
Schalten Sie nun auf den Auswertgraphen um. Auf der rechten Seite befinden sich dann wieder die Panels für die Einstellung.

Im Panel **Modellannahmen** ändern Sie zuerst den **Aquifertyp** auf **leaky**. Daraufhin wird ein weiterer Aquiferparameter, der hydraulische Widerstand c , zusätzlich zu den bereits vorhandenen Parametern T und S , im Bereich **Ergebnisse – Pegel 96** angezeigt.

Sie können nun die numerischen Werte für T , S und c ändern und sich die Wirkung auf die vom Programm errechnete theoretische Absenkung anzeigen lassen. Jeweils wenn sie nach einer Änderung der Zahlen die Eingabe-Taste (Enter) drücken wird die Änderung im Graphen übernommen.

Wenn die Kurve sich in der Nähe der Messwerte befindet, sollten Sie auch die automatische Anpassung ausprobieren. Wählen Sie dazu **Auswerten** in der Symbolleiste aus.

Sollte Auswerten grau dargestellt werden haben sie vermutlich den Pegel 96 nicht selektiert. Es muss sich nicht nur ein Haken vor Pegel 96 in der Liste Messwerte von befinden, sondern dieser muss auch ausgewählt sein!



Die bei Fetter (2001) nach Walton ermittelten Werte sind $T = 200 \text{ ft}^2/\text{d}$, $S = 2 \times 10^{-4}$ und $r/B = 0,22$. Die vom Programm ermittelte Transmissivität liegt bei ca. $250 \text{ ft}^2/\text{d}$, $S = 1,67 \times 10^{-4}$ und aus $c = 2470000 \text{ min}$ ergibt sich ein r/B (bzw. r/L in unserer Notation) von $0,15$.

In obiger Darstellung wurden die Achsen manuell skaliert und auf logarithmisch eingestellt. Die entsprechenden Einstellungen, d.h. **Skalierung**, **Minimum** und **Maximum** finden Sie unter **Zeitachse** bzw. **Absenkungsachse**.

Legende hinzufügen

Um eine Legende zum Graphen hinzufügen expandieren Sie den Bereich **Diagramm**. Wählen sie dort für **Legende** je nach gewünschter Position entweder **rechts** oder **unten** aus. Im Graph oben wurde ebenfalls die **Symbolgröße** auf 11 eingestellt.

Auswertung drucken

Klicken Sie auf die Schaltfläche **Drucken** um diese Auswertung auszudrucken. Sie brauchen dazu nicht auf die Seite **6 – Ausdruck** zu gehen.

Zusammenfassung

Sie haben in dieser Übung gelernt wie man

- mit Hilfe des Diagnosegraphs den Aquifertyp ermittelt
- einen leaky Aquifer auswertet
- die Darstellung im Auswertgraphen ändert

6.4 Auswertung unter Berücksichtigung unvollkommener Brunnen

Datei: UNVOLLKOMMEN

Starten Sie ggf. Hydro Tec und legen Sie im eine neue Datei an. Geben Sie dem Versuch die Bezeichnung *Unvollkommener Brunnen*. Stellen Sie folgende Maßeinheiten für den Versuch ein:

Länge Meter

Zeit Minute

Förderrate m³/d

Transmissivität m²/d

Erstellen Sie 2 weiter Brunnen, Pegel 1 und 2, im Abstand 5,10 m und 15,20 m. Nehmen Sie folgende Einstellungen für die Brunnengeometrie vor:

	Bezeichnung	Brunnenfunktion	X [m]	Y [m]	Höhe (NN) [r]	Höhe (FP) [r]	Ausbau	R [m]	L [m]	b [m]	r [m]	B [m]
1	Brunnen 1	Pumpbrunnen	0	0			unvollkommen	0,25	3,65	6,021		0,3
2	Pegel 1	Beobachtungsbrunn	0	5,1			unvollkommen		0,35	4,272		
3	Pegel 2	Beobachtungsbrunn	15,2	0			unvollkommen		0,35	4,048		

Achten Sie darauf, dass in der Spalte **Ausbau** die Option **unvollkommen** ausgewählt ist.

Tragen Sie die **Aquifermächtigkeit** 6,1 m ein.

Förderrate eingeben

Gehen Sie auf die Seite **2 – Förderrate** und geben für die Förderrate **konstant** und 86,4 m³/d ein.

Wasserspiegel eingeben

Gehen Sie auf die Seite **3 – Wasserspiegelmessungen**. Tragen Sie für die beiden Pegel jeweils 0 m als **Ruhewasserstand** ein und übernehmen die folgenden Werte (die Werte können auch aus den Dateien Pegel 1.xls und Pegel 2.xls importiert werden):

Pegel 1

Pegel 2

Zeit [min] Wasserspiegel [m]

Zeit [min] Wasserspiegel [m]

0,5 0,05

2 0,008

1,5 0,14

3 0,02

4 0,25

4 0,02

7	0,26	8	0,03
8	0,26	13	0,03
13	0,3	30	0,03
51	0,3	51	0,035
94	0,3	94	0,05
200	0,3	241	0,08
241	0,3	320	0,08
372	0,32	372	0,09
599	0,35	900	0,13
900	0,39	1552	0,15
1552	0,4	2670	0,19
2670	0,42	3995	0,21
3995	0,44		

Auswerten

Gehen Sie nun auf die Seite **4 - Auswerten**. Ändern Sie die Modellannahmen auf Freier Aquifer, anisotrop und unvollkommener Brunnen:

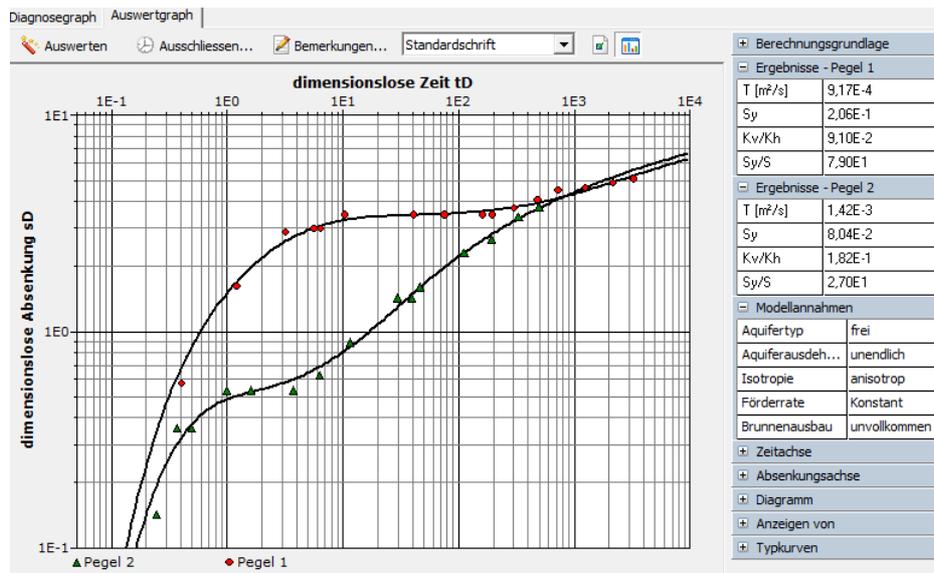
Modellannahmen	
Aquifertyp	frei
Aquiferausdeh...	unendlich
Isotropie	anisotrop
Förderrate	Konstant
Brunnenausbau	unvollkommen

Überprüfen Sie nun ob die Berechnungsgrundlage auch NEUMAN steht. Je nach Konfiguration des Programms ist u.U. auch BOULTON ausgewählt. Ändern Sie dies ggf. auf NEUMAN.

Ab jetzt wird das Programm wesentlich träger reagieren, da mit der Berechnung der Zeit-Absenkungs-Kurve sehr komplexe Rechenvorgänge verbunden sind.

Stellen Sie nun die Ansicht auf **dimensionslos** um und verwenden das Parameter-Fenster zur Anpassung der Aquiferparameter. Dazu gehen Sie sukzessiv vor, d.h. Sie passen manuell so weit wie möglich an, sperren 2 oder 3 Parameter mit Hilfe der Vorhängeschloss-Schaltfläche, und nehmen eine automatische Anpassung vor. Reduzieren Sie dann die Anzahl der gesperrten Parameter, schrittweise, bis alle 4 vom Programm optimiert werden können (s. auch Übung Kluftaquifer).

Am Ende erhalten Sie folgende Darstellung:



Der Parameter S_y ist das nutzbare Porenvolumen, der Parameter S_y/S , gibt an, um welchen Faktor es den Speicherkoeffizienten übersteigt.

Der Parameter K_v/K_h gibt das Verhältnis vertikaler zu horizontaler Durchlässigkeit an.

Die Auswertung zeigt exemplarisch, dass die Parameter durchaus eine gewisse Variationsbreite zwischen den Pegeln aufweisen können.

6.5 Pumpversuch mit mehreren Pumpbrunnen

Datei: MEHRFACHPUMPBRUNNEN

In diesem Beispiel wird die Auswertung eines Pumpversuchs mit 2 Pumpbrunnen und 2 Beobachtungspegeln durchgeführt. Nach der Eingabe bzw. dem Import der Messwerte erfolgt eine Auswertung und im Anschluss daran die Darstellung im Kartenbild. Zum Erstellen der Isolinenpläne und Farbverlaufskarten benötigen Sie die Professional-Version von Hydro Tec.

Die Daten wurden mit Hilfe der numerischen Grundwassermodells Visual MODFLOW generiert.

Erstellen Sie mit **Datei/Neu** einen neue Datei. Ändern Sie ggf. die **Maßeinheiten** auf:

Länge	m
Zeit	s
Transmissivität	m²/s
Förderrate	m³/d

Die Lage der Brunnen ist wie folgt:

Brunnen	X [m]	Y [m]
PW 1	955	1055
PW 2	1055	955
OW 1	1033	1030
OW 2	915	968

Brunnen erstellen

Erstellen Sie auf der Seite **Pumpversuch** die Brunnen mit obigen Namen und Koordinaten. Setzen Sie die **Brunnenfunktion** von **PW 1** und **PW 2** auf **Pumpbrunnen**, die von **OW 1** und **OW 2** auf **Beobachtungsbrunnen**.

Förderrate angeben

In den beiden Pumpbrunnen PW 1 und PW 2 wurde mit wechselnder Förderrate gepumpt. Auf der Seite **Förderrate** wählen Sie zuerst einen der beiden Pumpbrunnen aus und dann **Förderrate variabel**, andernfalls ist die Eingabetabelle deaktiviert. Geben Sie dann die entsprechenden Werte aus der Tabelle ein:

Zeit [s]	Q [m³/d] PW 1	Q [m³/d] PW 2
43200	100	150
86400	85	135
129600	60	165
172800	75	155
216000	90	140
259200	110	160
432000	100	150

Wählen Sie dann den anderen Pumpbrunnen und geben ebenfalls die Förderraten an.

Förderraten importieren

Wenn Sie sich die Tipperei sparen wollen: Die Werte liegen als Excel-Dateien im Beispiel-Verzeichnis von Hydro Tec vor. Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Eingabetabelle **Zeit-Förderrate** und wählen **Messwerte importieren** aus dem Kontextmenü. Die Dateien heißen PW 1.XLS und PW 2.XLS.

Hydro Tec stellt rechts neben der Eingabetabelle den Verlauf der Förderrate graphisch dar.

Wasserspiegelmessungen eingeben

Gehen Sie weiter auf die Seite **Wasserspiegelmessungen**. Wählen Sie **OW 1** aus der Liste und geben **60 m** als **Ruhewasserspiegel** an.

In der Eingabetabelle muss **Zeit-Wasserspiegel (Abstich)** als Koordinatensystem ausgewählt sein.

Auch hier finden Sie die Daten als Excel-Dateien. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Importieren** und wählen Sie die Datei OW 1.XLS aus.

Verfahren Sie genauso mit OW 2: Auswählen, Ruhewasserspiegel eingeben, Daten importieren.

Auswertung vornehmen

Wechseln Sie auf die Seite **Auswertung**. Es sind gleich 2 k.o. Kriterien für den **Diagnosegraph** erfüllt (Mehrfachpumpbrunnen, variable Förderrate), so was wir uns dessen Verwendung sparen können. Gehen Sie also gleich zum **Auswertgraph**. Auch hier können Sie getrost auf die Darstellung der Ableitungen verzichten und so den Graphen ein wenig lichten: Klicken Sie auf **Anzeigen von** und entfernen Sie die Markierungen **Ableitung Messwerte** und **Ableitung Typkurve**.

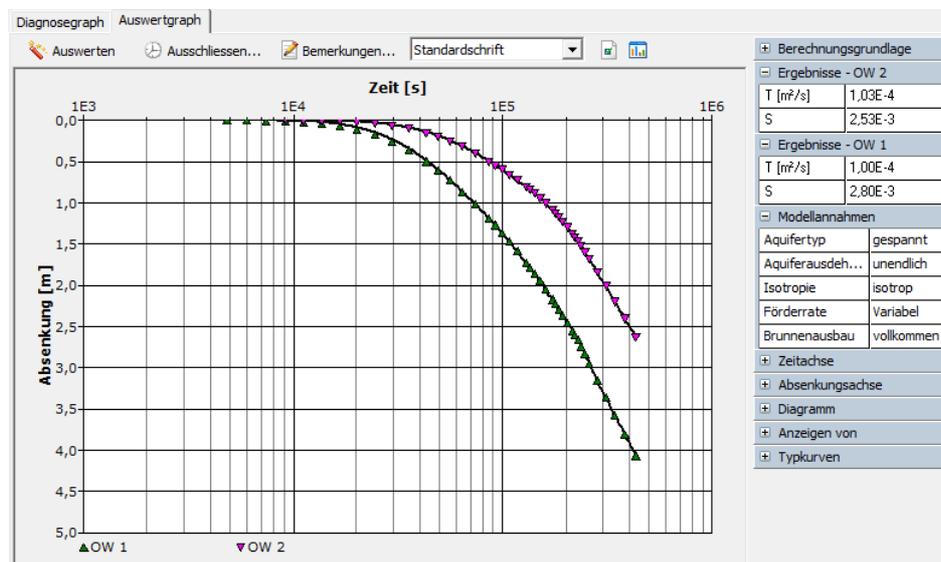
Modellannahmen ändern

Damit das Programm nicht mit einer gemittelten Förderrate rechnet müssen Sie die Modellannahmen ändern. Als Standard verwendet Hydro Tec für die Förderrate den Wert **konstant**. Das bedeutet, das Programm errechnet aus den verschiedenen Förderraten einen Mittelwert und verwendet diesen zur Berechnung der Absenkung. Im Gegensatz dazu steht die Einstellung **variabel**. Bei dieser Einstellung verwendet das Programm das Superpositionsprinzip zur Berechnung, d.h. die Absenkung wird als Folge unterschiedlicher Pumpversuche berechnet.

Da wir uns schon die Mühe gemacht haben mehrere Förderraten einzugeben sollten Sie deshalb jetzt die Modellannahme **Förderrate** auf **variabel** setzen.

Automatische Anpassung

In diesem Fall funktioniert die automatische Auswertung bereits mit den Standardwerten sehr schnell, d.h. Sie müssen die Startparameter für T und S nicht verändern. Markieren Sie einfach einen der Beobachtungspegel in der Liste **Messwerte von** und klicken Sie auf **Auswerten**. Führen Sie dies mit dem anderen Pegel ebenfalls durch.



Sie können nun noch den Graphen nach Wunsch formatieren und ggf. ausdrucken.

Karte erstellen

Die Karte dient der Dokumentation der Lage der Brunnen und Beobachtungspegel. Sie kann mit einem georeferenzierten Hintergrundbild (z. B. der Scan einer TK oder einem Luftbild) ergänzt werden. In der Professional-Version kann zusätzlich noch einer Darstellung der Absenkung mittels Isolinien und Farben erfolgen.

Gehen Sie nun auf die Seite **Lageplan**. Um die Brunnen anzuzeigen müssen wählen Sie den **Pumpversuch 1** in der Liste **Zeige Messstellen von** aus.



Nun wird noch der Maßstab und der Kartenursprung eingestellt. Klicken Sie auf das Icon **Neu skalieren** in der Symbolleiste oberhalb der Karte und die Brunnen erscheinen im Kartenbild. Unter Umständen müssen Sie den Zoomfaktor noch verkleinern, damit die Karte auf den Bildschirm passt. Klicken Sie dazu auf Verkleinern

Hintergrundkarte einfügen

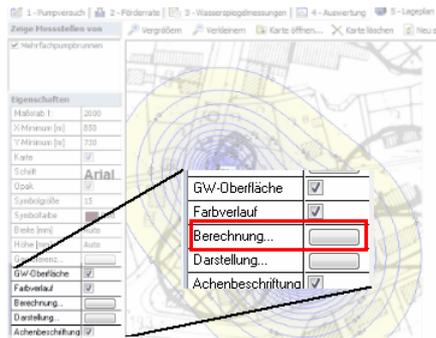
Klicken Sie auf Karte öffnen Karte öffnen... und wählen LAGEPLAN.BMP aus dem Beispiel-Verzeichnis aus. Daraufhin erscheint das Fenster **Hintergrundkarte georeferenzieren**. Geben Sie für X,Y links unten jeweils 600 m an, für rechts oben jeweils 1300 m.



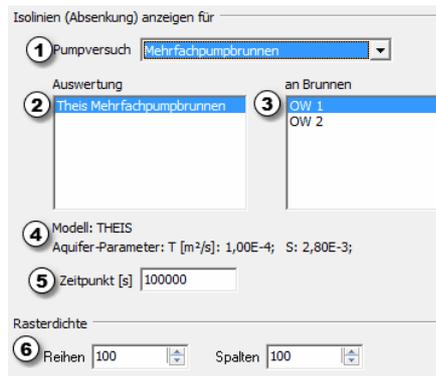
Klicken Sie dann auf **OK** um das Fenster zu schließen. Der obere Bereich des Kartenbildes in Hydro Tec ist weiß, da die Karte über die 1300 m des Hintergrundbilds hinausreicht.

Isolinien der Absenkung anzeigen

Nun werden die Berechnungsparameter der Absenkung ausgewählt, die in Form von Isolinien in der Karte dargestellt werden sollen. Klicken Sie dazu auf **Berechnung** im Panel **Eigenschaften** links neben dem Kartenbild.



Es erscheint das Fenster **Isolinien**. Wählen Sie einen Pumpversuch (1), eine Auswertung (2) und eine Messstelle (3) aus um die Aquiferparameter und das Rechenmodell zu bestimmen.



Diese Angaben werden verwendet, um die Versuchsangaben (z.B. zur Förderrate) und Randbedingungen (d.h. das Rechenmodell, z.B. Theis) und die Aquiferparameter (T, S) festzulegen (4). Die realen Messungen an dem Brunnen haben nur insofern Einfluss auf die Kartendarstellung, dass sie zur Berechnung der Aquiferparameter herangezogen sein könnten.

Geben Sie nun noch einen **Zeitpunkt** (5) an, z.B. 7200 s. Die **Rasterdichte** (6) bestimmt, die Anzahl der Gitterpunkte, an denen die Absenkung berechnet wird. Ein Raster von 100 x 100 bedeutet 10201 Stützpunkte [(Reihen+1) x (Spalten+1)] und ist für dieses Beispiel eine gute Wahl.

Nachdem Sie das Fenster **Isolinien** geschlossen haben brauchen Sie nur noch die Option **GW-Oberfläche** markieren um die Isolinien anzuzeigen.

| GW-Oberfläche

Da der Zeitpunkt für die erreichte Absenkung ein wesentlicher Parameter darstellt, wäre es jetzt angebracht, auf eine „bequemere“ Maßeinheit zu wechseln. Klicken Sie dazu auf die Seite 1 - Pumpversuch und wählen **h** für die **Zeit** aus. Gehen Sie danach wieder auf die Seite 5 - Lageplan.

Farbverlaufskarte anzeigen

Um mit den gleichen Einstellungen wie bei den Isolinen eine Farbverlaufskarte zu erzeugen markieren Sie die Option **Farbverlauf**

Farbverlauf

Darstellung optimieren

So richtig zufriedenstellend ist die Darstellung noch nicht. PW 2 ist am unteren Rand, die Farben wirken blass, die Isolinen haben ungerade Zahlenwerte.

Um das Kartenbild nach oben und nach rechts zu versetzen ändern Sie **X-Minimum** = 850 m und **Y-Minimum** auf 730 m. Ändern Sie den **Maßstab** auf 1:2000 damit der Kartenausschnitt größer wird.

X-Minimum [m]	850
Y-Minimum [m]	730

Klicken Sie nun im Panel **Eigenschaften** auf die Schaltfläche **Darstellung**. Schieben Sie das Fenster Kartendarstellung ein wenig zur Seite, um das Kartenbild sehen zu können. Sie können somit auf **Übernehmen** klicken um die vorgenommen Änderungen zu kontrollieren, ohne das Fenster schließen zu müssen.

Auf der Seite **Isolinen der Absenkung** ändern Sie zuerst die **Breite** auf 5, damit die Linien etwas dicker werden. Bei der Linienbeschriftung tragen Sie für den **Mindestabstand** 120 mm ein, damit nicht zu viele Labels auf einer Linie angezeigt werden.

Die **Intervalle** bestimmen, bei welchen Werten eine Isolinie angezeigt wird.

Intervalle [m]		
Minimum	Maximum	Abstand
0	5	0,5

In der näheren Umgebung der Pumpbrunnen ist die Absenkung sehr groß, so dass hier durch die Angabe eines Wertes für Maximum keine Linien gezeichnet werden. Setzen Sie den Abstand auf 0,5 m, die Minimum-Wert auf 0 m und den Maximum Wert auf 5 m. Klicken Sie nun auf **Übernehmen** – das sieht bereits besser aus.

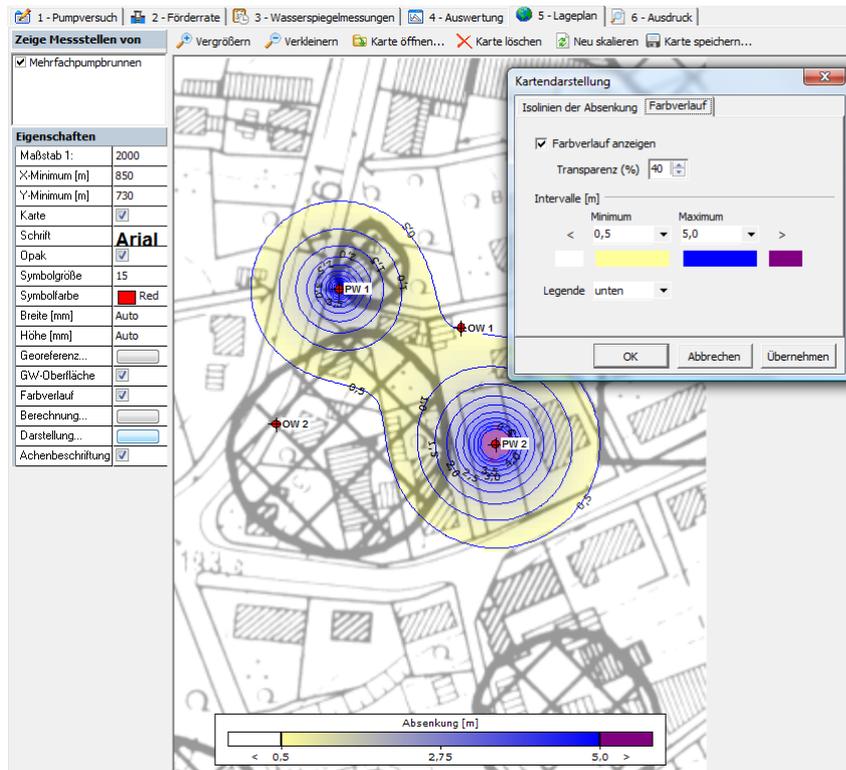
Weiter geht es auf der Seite **Farbverlauf**. Reduzieren Sie die Transparenz auf 40%. Auch hier geben Sie die **Intervalle** manuell an. Geben Sie 0,5 m für das **Minimum** und 5 m für das **Maximum** an. Wählen Sie entsprechende Farben aus:

Intervalle [m]		
Minimum	Maximum	
< 0,5	5 >	
		
		

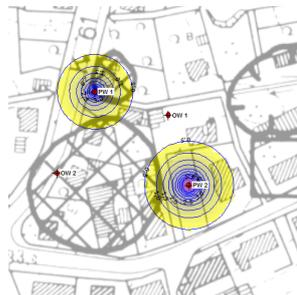
Diese Einstellungen bedeuten, dass alle Bereiche mit einer Absenkung < 0,5 m weiß sind, ein kräftiger Gelbton eine Absenkung von 0,5 m anzeigt, der bis zu 5 m in Blau übergeht. Alle Absenkungen > 5 m werden violettrot angezeigt.

Klicken Sie wieder auf **Übernehmen** bzw. auf **OK** um das Fenster zu schließen.

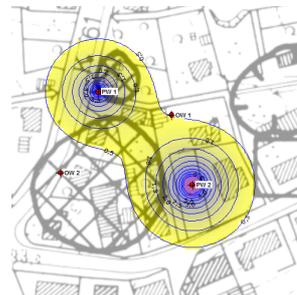
Das Ergebnis kann sich sehen lassen:



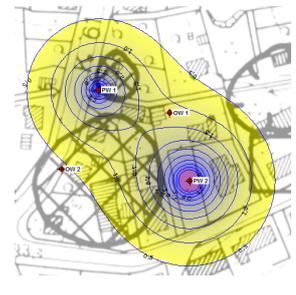
Sie können nun, wenn Sie nochmals auf **Berechnung** klicken, den Zeitpunkt ändern um so eine bessere Vorstellung von der Ausbreitung des Absenkungstrichters zu erhalten:



6 h



12 h



24 h

Wenn Sie im Lageplan die rechte Maustaste drücken erscheint der Befehl **Gitter exportieren**. Damit können die Absenkungswerte (x, y, s) in einer Datei abgespeichert werden um sie in einer anderen Software z.B. Surfer, weiter zu verwenden.

Zusammenfassung

Sie haben in dieser Übung gelernt wie man

- einen Pumpversuch mit mehreren Pumpbrunnen eingibt
- eine variable Förderrate eingibt und importiert
- die Modellannahmen ändert damit die variable Förderrate berücksichtigt wird
- den Lageplan verwendet
- Hintergrundkarten importiert
- Isolinienpläne und Farbverlaufskarten erstellt

6.5.1 Regionale Strömung und Stromlinien

Datei: MEHRFACHPUMPBRUNNEN MIT STROMLINIEN

Ausgehend vom vorherigen Beispiel wird nun eine regionale Grundwasserströmung dem Kartenbild hinzugefügt und es werden Stromlinien angezeigt.

Grundwasseroberfläche und regionale Strömung

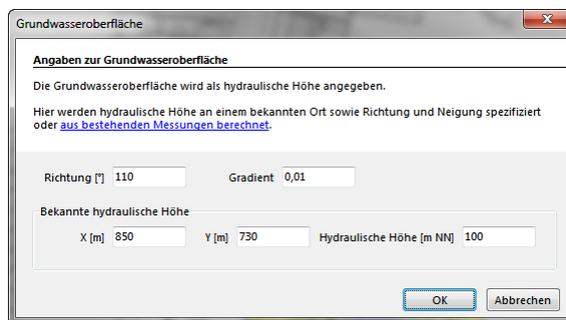
Klicken Sie dazu im **Eigenschaften**-Panel auf **Regionale Strömung** und nehmen im Fenster **Grundwasseroberfläche** die folgenden Eintragungen vor:

Richtung [°] 110, dies entspricht einer ESE-gerichteten Strömung.

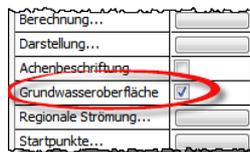
Gradient 0,01, dies bedeutet 1 m Gefälle auf 100 m Strecke.

Als **bekannte hydraulische Höhe** wird hier der Kartenursprung genommen, dies könnte aber jeder beliebige Punkt sein.

X [m] 850, **Y [m]** 730, **Hydraulische Höhe [m NN]** 100



Schließen Sie das Fenster mit **OK** und markieren **Grundwasseroberfläche** im **Eigenschaften**-Panel.



Die Darstellung ist nicht zufriedenstellend da in der vorherigen Übung die Intervalle an die Darstellung der Absenkung angepasst wurden. Nun müssen diese Werte auf die der Grundwasseroberfläche geändert werden. Klicken Sie dazu auf **Darstellung** und ändern auf der Seite **Isolinien** die Intervalle wie folgt:

Intervalle [m]		
Minimum	Maximum	Abstand
95,0	102,0	0,5

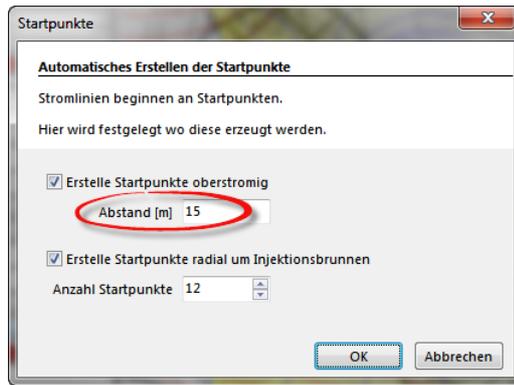
Das gleiche gilt für den **Farbverlauf**. Auch dort waren die Intervalle für die Absenkung eingestellt und müssen auf hydraulische Höhen geändert werden:

Intervalle [m]		
Minimum	Maximum	
< 95	99,5 >	

Schließen Sie dann das Fenster mit **OK**.

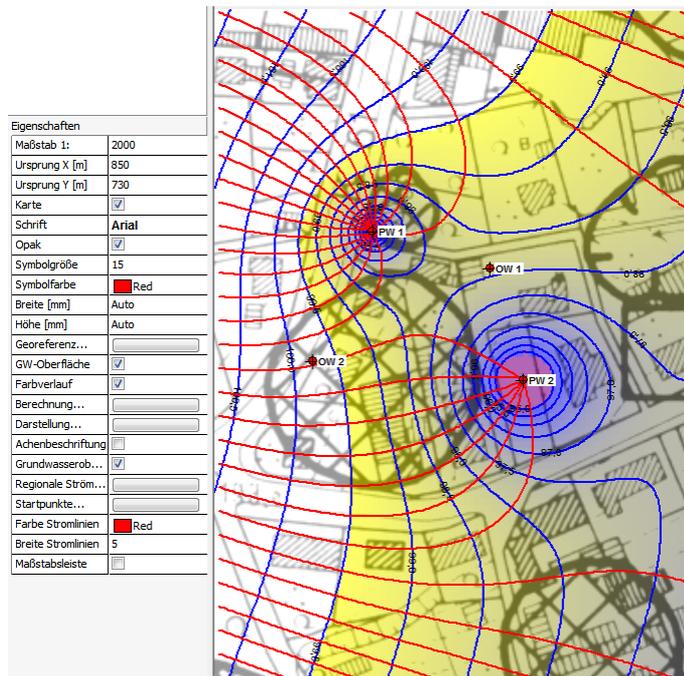
Stromlinien bearbeiten

Standardmäßig werden Stromlinien in 10 m Abstand oberstrom erstellt, d.h. in diesem Falle einer ESE-Strömung am westlichen und nördlichen Rand der Karte. Klicken Sie auf **Startpunkte** um zu den Einstellungen zu gelangen und ändern Sie den Wert **Abstand** auf 15 m:



Wenn Sie auf Stromlinien verzichten wollen entfernen Sie die beiden Haken bei **"Erstelle Startpunkte..."**.

Schließen Sie das Fenster mit **OK**. Ihre Karte sollte nun wie folgt aussehen:



Man erkennt deutlich den Einzugsbereich der beiden Förderbrunnen.

Breite und Farbe der Stromlinien können im **Eigenschaft**-Panel eingestellt werden.

Zusammenfassung

Sie haben in dieser Übung gelernt, wie man

- eine regionale Grundwasserströmung mit der Absenkung zusammen führt um die Grundwasseroberfläche darzustellen
- Stromlinien darstellt

6.6 Auswertung im Freien Aquifer

Datei: NEUMAN

Literatur: Kruseman & de Ridder (1991) : 104-106

Ziel der folgenden Übung ist nicht nur Ihnen eine Lösungsmöglichkeit für den freien Aquifer bei anisotropen Verhältnissen vorzuführen, sondern auch ein Gefühl für die Komplexität der Berechnungen zu vermitteln.

In Hydro Tec ist es sehr leicht, die Modellannahmen zu verändern, indem in einer der Auswahllisten einfach ein anderer Wert angeklickt wird. Ein gewisses Verständnis für die Berechnung ist aber sehr nützlich, sonst sind Sie spätestens dann überrascht, wenn das Programm sich bei der automatischen Optimierung für etliche Zeit zur Berechnung zurückzieht.

Die folgende Übung vermittelt einen recht guten Eindruck davon, wie viel Leistungsreserven Ihr PC hat, und wie sich das System PC/Hydro Tec bei zunehmender Beanspruchung verhält.

Dateneingabe

Starten Sie Hydro Tec und legen Sie eine neue Datei an. Wählen Sie die **Maßeinheiten** wie folgt:

Länge	m
Zeit	min
Transmissivität	m ² /d
Förderrate	m ³ /d

Hydro Tec hat bereits den **Brunnen 1** als Pumpbrunnen angelegt. Bestimmen Sie dessen Koordinaten auf **X=0** und **Y=0**. Legen Sie einen zweiten Brunnen an und bestimmen die Koordinaten auf **X=0** und **Y=90** m. Dies ist der **Beobachtungsbrunnen**.

Geben Sie für die **Aquifermächtigkeit** 21 m ein.

Gehen Sie auf die Seite **2 –Förderrate** und geben 873 m³/d als konstante Förderrate ein.

Zur Eingabe der **Wasserspiegelmessungen** wechseln Sie auf die Seite 3. Wählen Sie den **Brunnen 2** (den Beobachtungsbrunnen) aus und geben 0 m als **Ruhewasserspiegel** ein.

Die folgende Tabelle zeigt die Messwerte; wie gewohnt finden Sie diese als Datei **Brunnen 2.XLS** im Beispiel-Verzeichnis.

Zeit [min]	Wassersp. [m]	Zeit [min]	Wassersp. [m]	Zeit [min]	Wassersp. [m]
1,17	0,004	18	0,098	260	0,172
1,34	0,009	21	0,103	300	0,173
1,7	0,015	26	0,11	370	0,173
2,5	0,03	31	0,115	485	0,183
4	0,047	41	0,128	665	0,182
5	0,054	51	0,133	1340	0,2
6	0,061	65	0,141	1490	0,203
7,5	0,068	85	0,146	1520	0,204
9	0,064	115	0,161		
14	0,09	175	0,161		

Nachdem Sie die Messwerte eingetragen oder importiert haben gehen Sie auf die Seite **4 - Auswertung** und wählen **Brunnen 2** in der Liste zur Auswertung aus.

Auswertung

Ändern Sie die Bezeichnung zu THEIS-Auswertung und belassen Sie die Modellannahmen wie sie sind. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Auswerten** um eine automatische Anpassung vorzunehmen. Wählen Sie zweckmäßigerweise eine halblogarithmische Darstellung (Zeit: logarithmisch) um die „Unregelmäßigkeiten“ besser zu erkennen.

Diese Theis-Auswertung (die gar nicht mal so schlecht passt) liefert $T \approx 2400 \text{ m}^2/\text{d}$ und $S \approx 3,5 \times 10^{-4}$.

Wir werden diese Auswertung zu Vergleichszwecken behalten. Erstellen Sie nun eine neue Auswertung (**Auswertung/Neu**). Die Messwerte aus Brunnen 2 sind bereits ausgewählt und werden angezeigt. Nehmen Sie auch hier eine automatische Anpassung vor oder geben sie oben stehende Werte für T und S ein um die Startparameter einzustellen.

Ändern sie nun die Modellannahmen. Wählen sie für **Aquifertyp frei** und für die **Isotropie anisotrop**. Das Programm zeigt ihnen an, dass es nun die Neuman-Methode verwendet. Sollte dies nicht der Fall sein wählen Sie bitte **NEUMAN** im Panel **Berechnungsgrundlage** aus.

Wenn sie nun beispielsweise die Größe des Fensters ändern werden sie feststellen, dass das Programm schon ein wenig träger reagiert, da bei jedem Bildaufbau der Absenkungsverlauf neu berechnet wird.

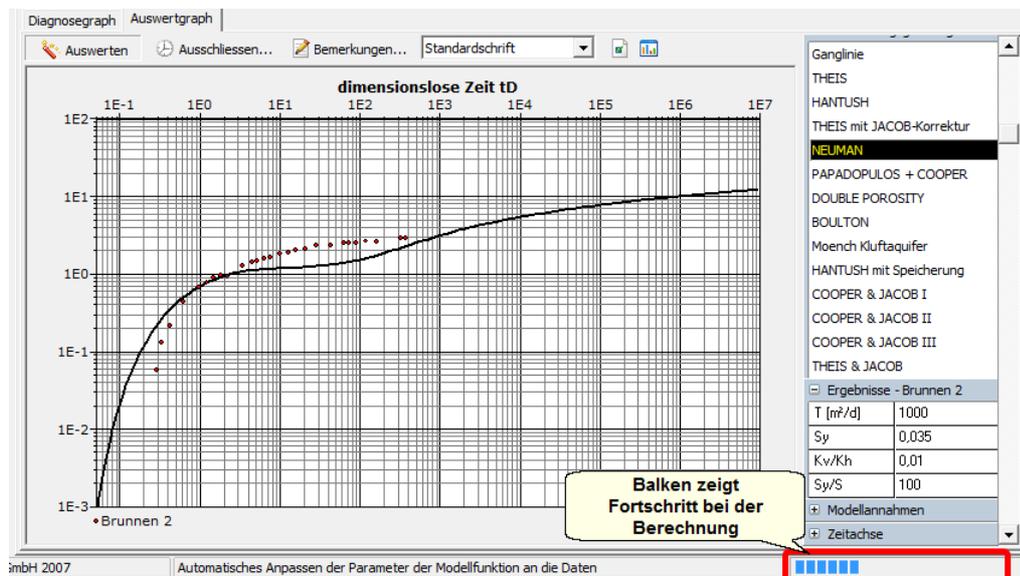
Sie sollten nun die Startparameter zur automatischen Anpassung einstellen. Das Programm erwartet die Angabe von S_y (dem nutzbarem Porenvolumen) und den Verhältnissen K_v/K_h und S_y/S .

Tragen sie folgende Werte ein:

- T: $1000 \text{ m}^2/\text{d}$; bei der Theis-Auswertung hatten wir $2400 \text{ m}^2/\text{d}$, der Wert muss also für den ungespannten Aquifer darunter liegen.
- S_y : 0,035 ; auch hier ist dies einfach eine Multiplikation mit 100 des Wertes für S.

Die anderen beiden Parameter belassen Sie auf den Vorgabewerten:

- K_v/K_h : 0,01 ; d.h. die vertikale Durchlässigkeit ist 100 mal geringer als die horizontale Durchlässigkeit
- S_y/S : 100 ; d.h. das Nutzporenvolumen ist 100 mal größer als der Speicherkoeffizient



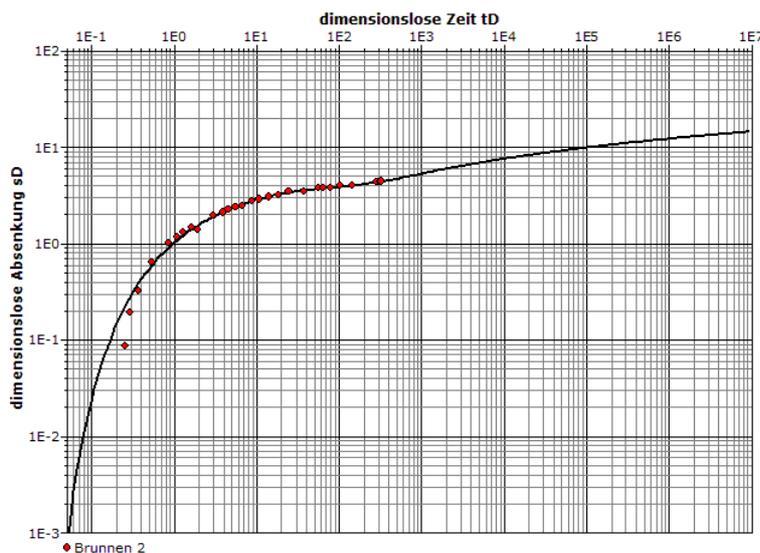
Während der Berechnung zeigt ein Balken rechts unten in der Statusleiste den Iterationsfortschritt an. Der Graph oben zeigt übrigens die dimensionslose Darstellung (t_D gegen s_D) an.

Das Programm wird einige Zeit (≈ 1 min auf 1,8 GHz CPU) rechnen bis es das Ergebnis ermittelt hat. Je nach Startparameter kommen allerdings unterschiedliche „Beste Anpassungen“ heraus. Hier ist dann wieder der hydrogeologische Sachverstand gefragt, mit dem es die Hindernisse numerischer Optimierungsverfahren zu überwinden gilt.

Auswertung nach Boulton

Nun wird eine weitere Auswertung nach dem Boulton-Verfahren erstellt. Wählen Sie dazu **Auswertung/Neue Auswertung** erstellen und klicken im Panel **Berechnungsgrundlage** auf BOULTON. Tragen Sie im Ergebnispanel wieder die Startparameter $T = 1000 \text{ m}^2/\text{d}$ und $S_y = 0,035$ ein (Phi und S_y/S können Sie auf den Vorgabewerten belassen) und klicken auf **Auswerten**.

Die Auswertung geht deutlich flotter voran als bei der Neuman-Methode. Die folgende Darstellung zeigt in von Hydro Tec ermittelte Anpassung:



Vergleich der Ergebnisse

Zum Vergleich die Ergebnistabelle:

	Neuman Typkurvenverfahren Kruseman & de Ridder (1991)	Neuman Hydro Tec 5.5	Boulton Hydro Tec 5.5	zum Vergleich: Theis Hydro Tec 5.5
T [m^2/d]	1447	1340	1510	2440
SY	0,0049	0,0114	0,006	$3,46 \times 10^{-4}$ (S)
SY/SA	9,4	20,3	10	-
Kv/Kh	$5,5 \times 10^4$	$7,1 \times 10^4$	-	-

Die Methoden von Neuman und Boulton liefern in diesem Pumpversuch für die Transmissivität ähnliche Ergebnisse, die sich deutlich von der nach Theis ermittelten unterscheiden. Die von beiden Methoden gelieferten Werte für S_y sind eher unrealistisch.

In Hydro Tec bequemer zu Handhaben ist die Boulton-Methode, da die Berechnung deutlich schneller geht und es nicht zu einem verzögertem Bildaufbau während der Bedienung kommt. Die Vorgabemethode für den freien, anisotropen Aquifer kann unter **Extras/Optionen** auf der Seite **Programmumgebung** ausgewählt werden.

6.7 Auswertung 2-Aquifer-System

Datei: Multilayer.hyt

Literatur: MWH (2003)

In diesem Beispiel wird ein 2-Aquifer-System nach Neuman & Witherspoon (1969) ausgewertet.

Dateneingabe

Starten Sie Hydro Tec und legen Sie eine neue Datei an. Wählen Sie die **Maßeinheiten** wie folgt:

Länge + Länge (Lage)	ft
Zeit	min
Transmissivität	ft ² /min
Förderrate	U.S. gal/min

Hydro Tec hat bereits den **Brunnen 1** als Pumpbrunnen angelegt. Ändern Sie die **Bezeichnung** auf *W383 EM* und bestimmen dessen Koordinaten auf **X=0** und **Y=0**. Legen Sie einen zweiten Brunnen an, ändern die **Bezeichnung** auf *T632* und bestimmen die Koordinaten auf **X=81,5** und **Y=0** ft. Dies ist der **Beobachtungsbrunnen**.

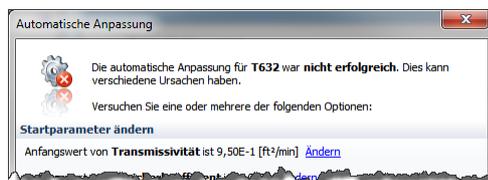
Gehen Sie auf die Seite **2 –Förderrate** und geben 2222 U.S. gal/min als konstante Förderrate ein.

Zur Eingabe der **Wasserspiegelmessungen** wechseln Sie auf die Seite **3 - Wasserspiegel**. Wählen Sie den **T632** (den Beobachtungsbrunnen) aus und geben 0 ft als **Ruhewasserspiegel** ein. Klicken Sie auf **Wasserspiegelmessungen** und importieren die Datei **Data Pumping Test W383EM.xlsx** (aus dem Beispiel-Verzeichnis).

Auswertung

Gehen Sie auf Seite **4 - Auswertung**. Unter **Messwerte von** wählen Sie **T632** aus und ändern die **Berechnungsgrundlage** auf **THEIS** und markieren **Dimensionlos**. Klicken Sie auf **Auswerten** für einen ersten Fit und um Parameter für T und S zu erhalten. Alternativ können Sie natürlich auch die Messwerte manuell auf die Typkurve schieben.

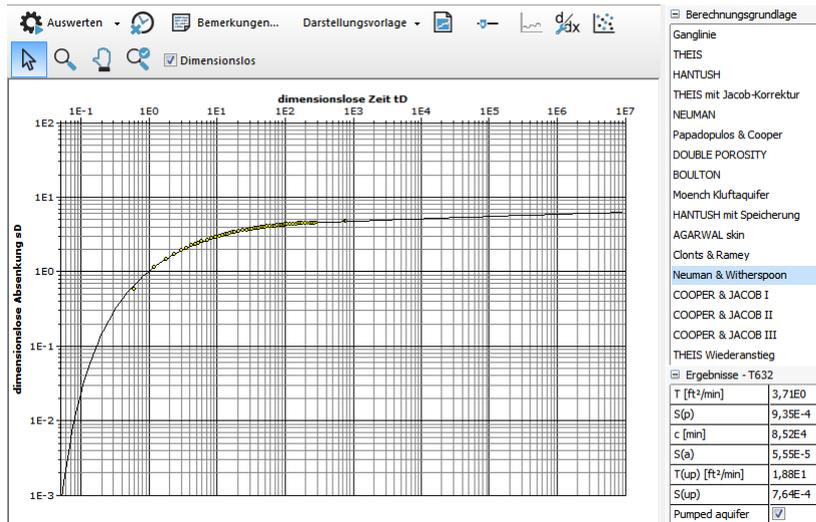
Ändern Sie nun die Berechnungsgrundlage auf **Neuman & Witherspoon** und klicken erneut auf **Auswerten**. Vermutlich erhalten Sie eine Meldung vom Programm das die Auswertung nicht erfolgreich war:



In diesem Meldungsfenster können Sie verschiedene Einstellungen ändern, in diesem Fall bietet es sich an die Anzahl der Iterationen zu erhöhen. Geben Sie für **Neue Anzahl der Iterationen** 3000 ein und klicken auf **Neu auswerten**.



Die Anpassung sollte nun erfolgreich verlaufen und wie folgt aussehen:



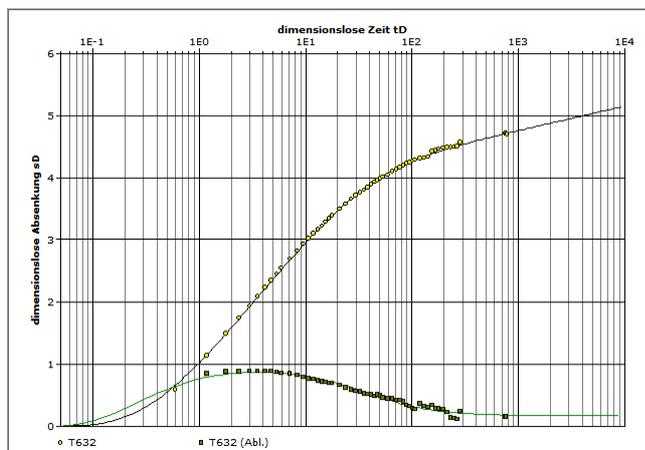
Die folgende Abbildung zeigt die gleiche Auswertung in angepasster Darstellung. Die Änderungen im Einzelnen:

Absenkungsachse: Maßstab linear, Minimum 0, Maximum 6, Intervallanzahl 6, Zahlformat (leer)

Zeitachse: Maximum 6

Anzeigen: Ableitung der Messwerte+Typkurve eingeschaltet, Glättung der Ableitung nach Bourdet mit L-Spacing 0,25

Diagramm: Legende unten, Symbolgröße 8



6.8 Auswertung Multi-Aquifersystem

Datei: Multiaquifer

In diesem Beispiel wird ein 2-Aquifer-System nach Hemker & Maas (1987) ausgewertet. Die Daten stammen aus einem synthetischen Pumpversuch der mit Visual MODFLOW berechnet wurde. Die Methodik eignet sich auch für Systeme mit mehr als 2 Aquiferen, allerdings wird dabei die Anzahl der Parameter noch größer (um mindestens 3).

Dateneingabe

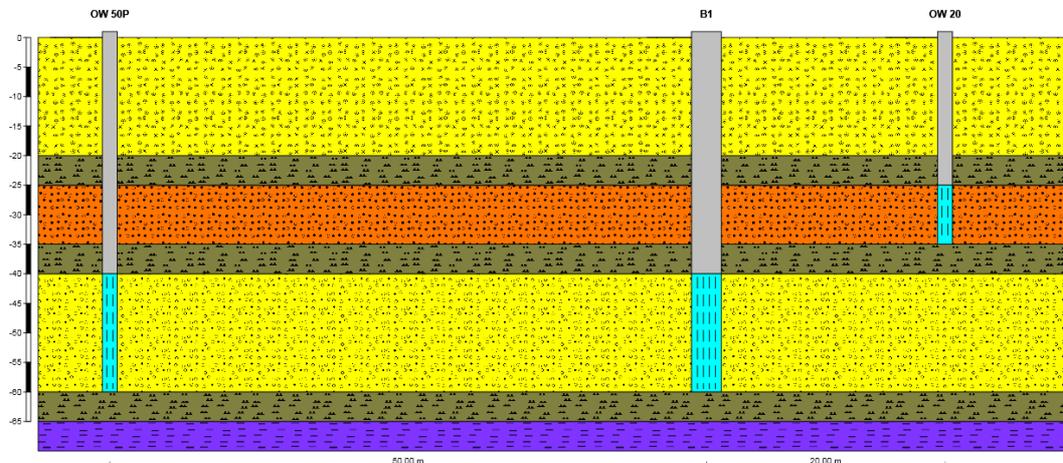
In diesem Berechnungsbeispiel brauchen Sie keine Daten eingeben oder importieren. Der Fokus liegt auf der Auswertung.

Starten Sie Hydro Tec und öffnen Sie die Datei Multiaquifer.hyt.

Es befinden sich 4 Brunnen in der Datei die wie folgendermaßen angeordnet sind:



Der Brunnen B1 ist der Förderbrunnen ($Q = \text{const.} = 10 \text{ l/s}$), die 3 Beobachtungsbrunnen befinden sich in den Abständen 5 m, 20 m und 50 m von diesem entfernt. Ein West-Ost-Schnitt stellt sich wie folgt dar (ohne OW-5P):



Der Brunnen OW-20 ist im oberen Sandaquifer verfiltert, die anderen Brunnen sind im darunter liegenden Kiesaquifer, der auch bepumpt wird, verfiltert. Beachten Sie auch den obersten Kiesaquifer und den Nichtleiter (Ton) als randliche Begrenzungen des Aquifersystems.

Auswertung

Wählen Sie **Auswertung / Neue Auswertung erstellen** aus dem Menü und ändern die **Berechnungsgrundlage** im gleichnamigen Panel auf **Multilayer**. Es erscheint das Fenster **Einstellungen - Multilayer Aquifersystem**. In diesem wird das konzeptionelle Modell definiert und die Brunnen werden den Aquiferen zugeordnet.

Belassen Sie die Aquiferanzahl bei 2.

Klicken Sie dann auf die oberste Aquiclude um diese zu ändern. Bei jedem Klick ändern sich der Typus der Schicht. Klicken Sie so oft darauf bis "**Aquitarde begrenzt, im Hangenden s=0**" dort erscheint. Diese Schicht entspricht der oberen Schluffschicht, die sich zwischen dem obersten Kiesaquifer und dem darunter liegenden Sandaquifer befindet. Der Begriff "s=0" bedeutet dass am oberen Rand dieser Aquitarde kein Absenkung (s) vorhanden ist. Im geologischen Modell ist dies dadurch begründet, dass der obere Kiesaquifer ein hohes Speichervermögen aufweist, so dass praktisch keine Absenkung zu erwarten ist.

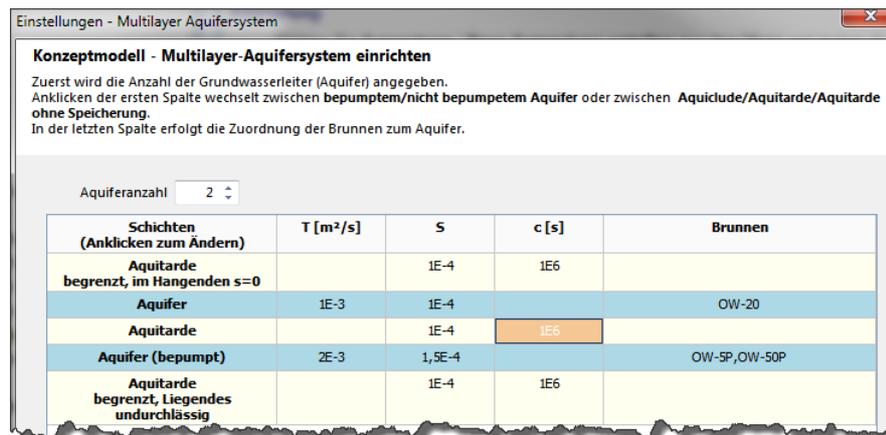
Im darunter liegenden Aquifer wählen Sie in der Spalte **Brunnen** "OW-20" aus um die Messwerte diesem Aquifer zuzuordnen.

In der Aquitarde zwischen den beiden Aquiferen brauchen keine Eingaben vorgenommen zu werden. Im liegenden Aquifer (bepumpt) wählen Sie in der Spalte **Brunnen** "OW-5P" und "OW-50P" aus.

Für die unterste Schicht ändern Sie wiederum durch Anklicken den Typ auf "**Aquitarde begrenzt, Liegendes undurchlässig**". Dies entspricht der untersten Schluffschicht im Profil, die sich zwischen dem bepumpten Kiesaquifer und der undurchlässigen Tonschicht befindet. Das Modell umfaßt somit 10 Parameter (2 Aquifere mit T und S, 3 Aquitarden mit S und c).

Startparameter

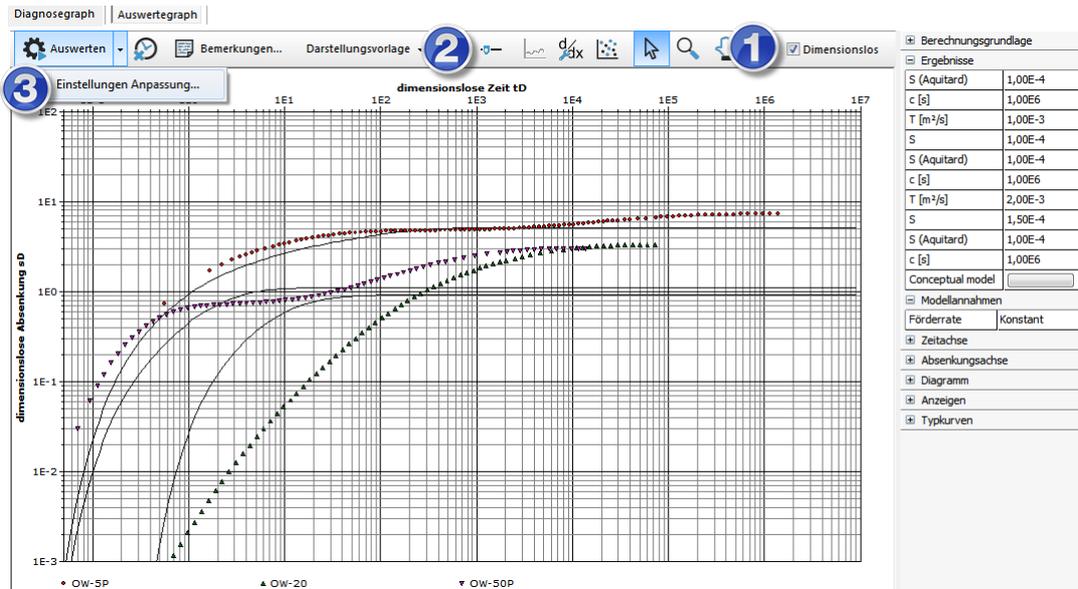
Nun sollten "vernünftige" Startparameter eingetragen werden. Aus einer THEIS-Auswertung (s. Beispieldatei, Auswertung der Anfangsphase, manuelle Anpassung) von PW-5 ergibt sich $T = 2E-3$ und $S = 1,5E-4$. Dies Werte werden für den Aquifer (bepumpt) eingesetzt. Für alle anderen S wird $1E-4$ angesetzt, für alle c ein Wert von $1E6$ s. Dies entspricht etwas mehr als 1 d und sorgt dafür das die Aquifere "gut" hydraulische verbunden sind. Für T des nicht bepumpten Aquifers wird $1E-3$ angesetzt, einfach weil dessen Mächtigkeit nur halb so groß ist wie die des anderen Aquifers.



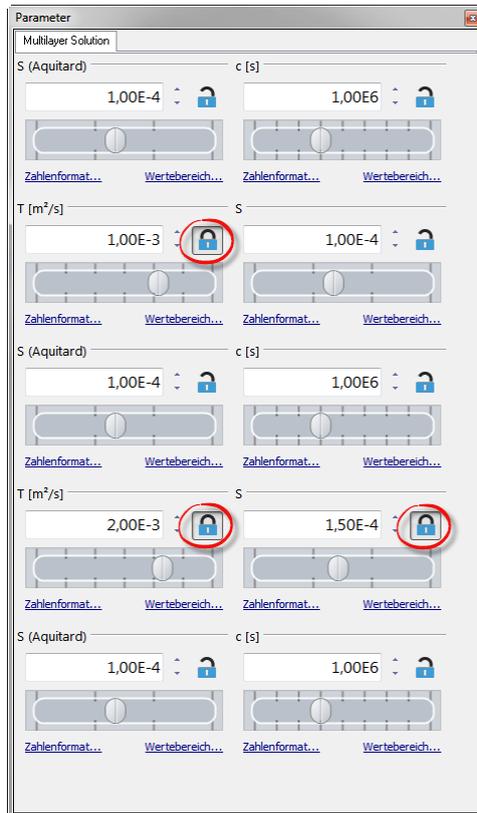
Schließen Sie das Fenster nun mit **OK**.

Die Kunst des Anpassens

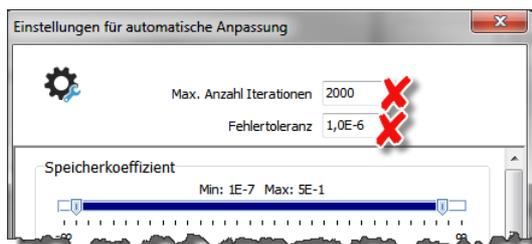
Bei einem Modell mit 10 Parametern ist oftmals nicht möglich einfach **Auswerten** zu klicken und eine passende Lösung zu erhalten, stattdessen ist eine sukzessive Annäherung notwendig.



Stellen Sie zuerst die Ansicht auf **Dimensionslos** (1) um eine übersichtliche Darstellung zu erhalten. Klicken Sie dann auf **Parameter-Steuerelemente anzeigen** (2) und sperren Sie die beiden Transmissivitäten und den Speicherkoeffizienten des bepumpten Aquifers:

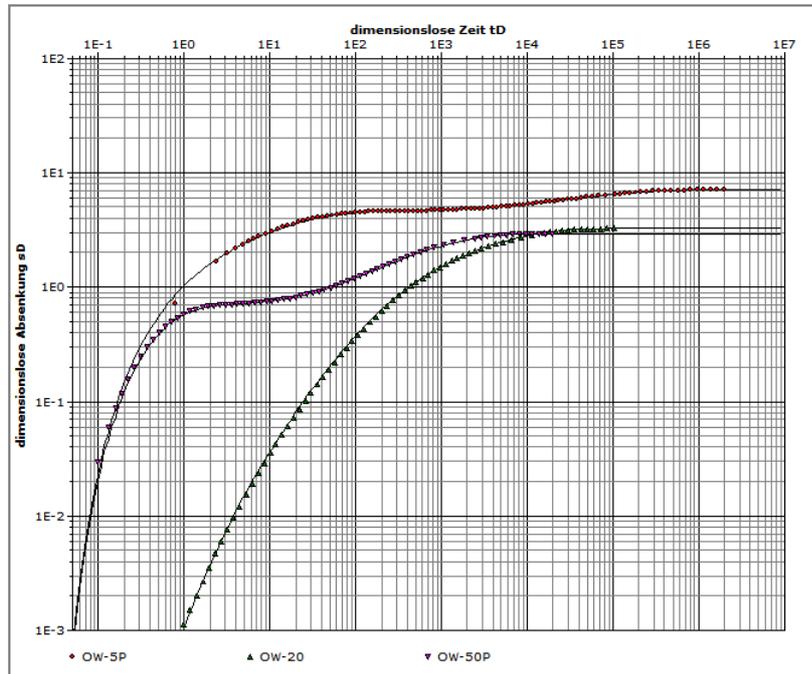


Nun wählen Sie unter der Schaltfläche **Auswerten** den Befehl **Einstellungen Anpassung** (3) und ändern die **Max Anzahl der Iteration** auf 2000 und die **Fehlertoleranz** auf 1E-6.



Nun klicken Sie auf **Auswerten** um eine erste automatische Anpassung vorzunehmen.

Nachdem dies erfolgt entfernen Sie die Sperre des Speicherkoeffizienten und drücken erneut **Auswerten**. Entfernen Sie danach die Sperre der Transmissivität des bebumpften Aquifers und werten erneut aus. Entfernen Sie nun die letzte Sperre und werten nochmals aus. Die finale Anpassung sieht wie folgt aus:



Bei der Multiaquifer-Lösung wird der Fit auf alle Messstellen in der Auswertung gerechnet, unabhängig davon welche Messstelle in der Auswahlliste markiert ist.

Tipp: Um ausgehend von den Startparametern verschiedene Lösungsstrategien auszuprobieren verwenden Sie **Auswertungen/Duplizieren** und passen dann das Duplikat an.

6.9 Auswertung im Horizontalbrunnen

Datei: Horizontalbrunnen

Literatur: Kaweck (2000), Langseth et al. (2004)

In der hydrogeologischen Fachliteratur konnten wir leider keine Beispieldaten über einen tatsächlich durchgeführten Pumpversuch finden. Deshalb wird in diesem Beispiel die Modellierung eines hypothetischen Beispiels durchgeführt, d.h. die Aquiferparameter werden vorgegeben und die ermittelte Absenkung wird mit Literaturwerten verglichen.

Dateneingabe

Legen Sie eine neue Datei an (**Datei/Neu**) und stellen die Maßeinheiten wie folgt ein:

Maßeinheiten			
Länge (Lage)	m	Länge (Messungen)	m
Zeit	d	Förderrate	m ³ /d
Transmissivität	m ² /d	Druck	mbar

Geben Sie die **Aquifermächtigkeit** mit 100 m an.

Gehen Sie nun in die Tabelle der Brunnen und tragen für Brunnen 1 folgende Werte ein:

$$X = 0$$

$$Y = 0$$

$$R \text{ (Filterradius)} = 0,075$$

L (halbe Länge des Filters) = 75

b (Abstand OK Aquifer - Brunnenachse) = 50

Markieren Sie die Option **Horizontalbrunnen**

Richtung = 90

Wechseln Sie nun auf die Seite **Förderrate** und geben eine **konstante Förderrate** von 1536 m^3/d an.

Weiter geht es auf der Seite **Wasserspiegelmessungen**. Geben Sie den **Ruhewasserspiegel** mit 0 m an. Tragen Sie ebenfalls 0 m für die Messposition ein. Dies bedeutet, dass die Messung die Berechnung in der Mitte des Horizontalbrunnens erfolgt.

Da wir keine echten Messungen vorliegen haben tragen wir einfach 2 Werte ein, damit das Programm innerhalb dieser Zeitspanne uns einen Graphen zeichnet. Tragen Sie folgende Werte ein:

Zeit [d]	Wasserspiegel [m]
0,001	1
1000	12

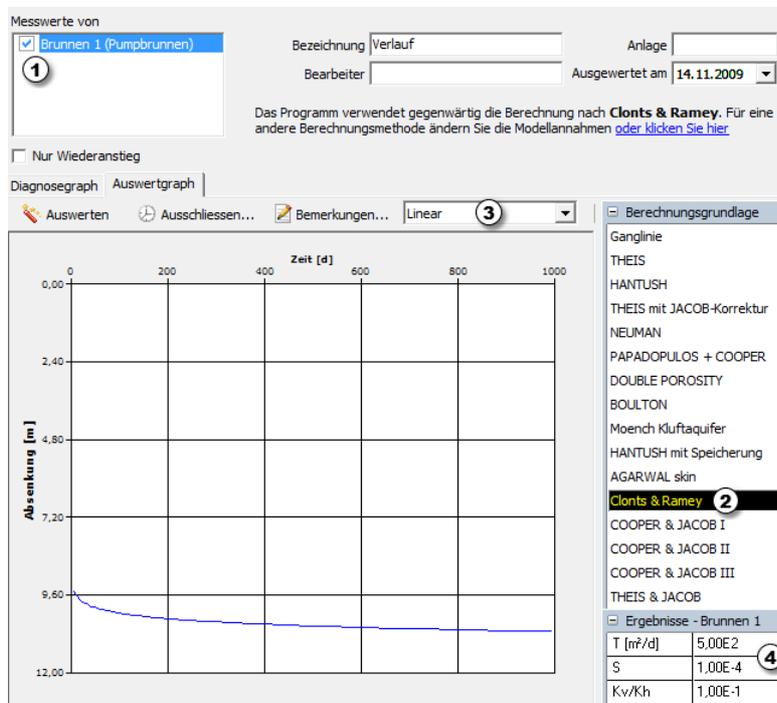
Absenkungsverlauf darstellen

Gehen Sie nun auf die Seite **Auswertung**. Wählen Sie dort **Brunnen 1 (Pumpbrunnen)** in der Liste **Messwerte von** aus (1).

Ändern Sie im Panel **Berechnungsgrundlage** die Methode auf **Clonts & Ramey** (2).

Wählen Sie nun als **Darstellungsvorlage** die Vorlage **Linear** aus (3) um den Graph schnell zu formatieren.

Da es sich um eine Modellierung handelt geben Sie nun im Panel **Ergebnisse - Brunnen 1** (4) die Werte für $T = 500 \text{ m}^2/\text{d}$, $S = 10^{-4}$ und $K_v/K_h = 0,1$ ein.



In obiger Abbildung wurde zusätzlich noch das Maximum der Absenkungsachse auf 12 m gesetzt.

Bei diesem Beispiel handelt es sich um den **Case 1** aus Kawecki (2000). Dort wird eine nachhaltige Förderrate definiert als 10 m Absenkung bei einer Pumpdauer von 1000 Tagen, und diese wird mit $1536 \text{ m}^3/\text{d}$ berechnet. Um die von Hydro Tec berechnete Absenkung numerisch exakt anzuzeigen - anstatt ihn aus dem Graph abzulesen, wählen Sie **Statistik** aus dem Menü **Auswertung** oder aus dem Kontextmenü. Im Fenster **Statistik** kann nun zum Zeitpunkt $t=1000 \text{ d}$ (entspricht $86.400.000 \text{ s}$) der Wert **s (Modell)** abgelesen werden. Er beträgt $10,724 \text{ m}$, allerdings wurde die Zielvorgabe von 10 m auch mit einer anderen Methode errechnet.

Statistik der Anpassung			
Diese Übersicht gibt statistische Kennzahlen für die Anpassung an. Diese können als Datei abgespeichert oder auf dem Standarddrucker ausgedruckt werden.			
Alle Meßwerte sind in SEKUNDE und METER. Die Absenkung s in der 2. Spalte ist die Absenkung nachdem alle Datenkorrekturen (sofern vorhan angewendet wurden). Bei der Auswertung des Wiederanstiegs ist die Zeit t die äquivalente AGARWAL-Zeit.			
1	Messstelle:	Brunnen 1	
2	Modellrechnung nach:	Clonts & Ramey	
3	Transmissivität [m ² /d]	5,00E2	
4	Speicherkoeffizient	1,00E-4	
5	Verhältnis $K(v)/K(h)$	1,00E-1	
6			
7	Statistik der Anpassung		
8	Mittelwert delta s [m]	-2,534	
9	Summe der Fehlerquadrate [m ²]	29,044	
10	Varianz [m ²]	14,522	
11	Standardabweichung [m]	3,811	
12			
13	t [s]	s [m]	s (Modell) [m] delta s [m]
14	86,4	1	7,345 -6,345
15	86400000	12	10,724 1,276
16			

Strömungsphasen unterscheiden

Im Kapitel über die theoretischen Grundlagen wurden die unterschiedlichen Phasen der Brunnenanströmung vorgestellt. Um diese Phasen in unserem Beispiel zu identifizieren empfiehlt sich die dimensionslose Darstellung der Ableitung. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

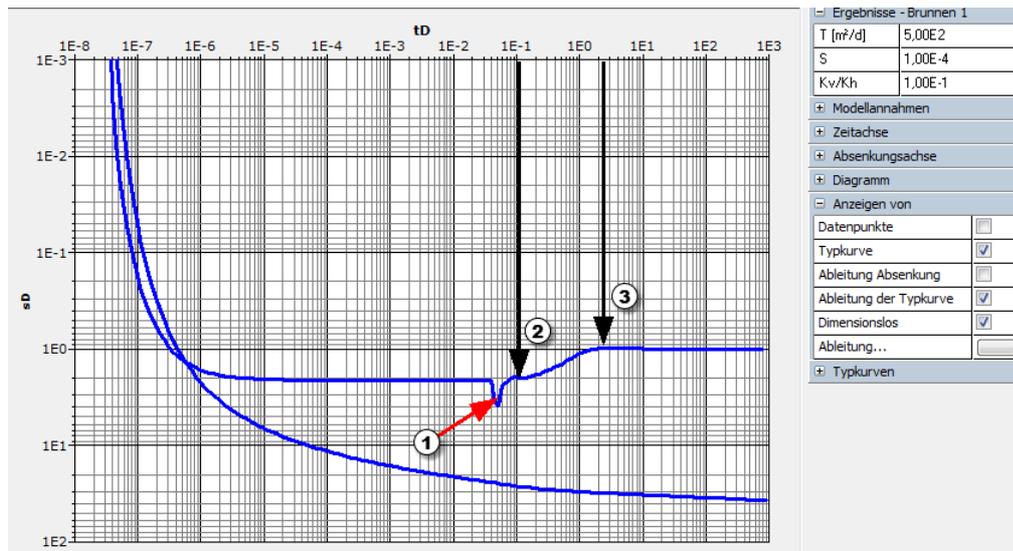
Wählen Sie **Auswertung / Neue Auswertung** erstellen und ändern Sie die **Berechnungsgrundlage** auf **Clonts & Ramey**.

Im Panel **Anzeigen von** markieren Sie die Option **Dimensionslos**, dabei wird automatisch auch die Darstellungsvorlage auf Dimensionslos geändert (zumindest wenn die Hydro Tec-Voreinstellungen nicht geändert wurden). Die Achsen sind logarithmisch und die Wertebereiche entsprechende angepasst. Allerdings ist der Wertebereich von t_D nicht passend, da sich die Definition von t_D beim Clonts & Ramey-Verfahren von den anderen Methoden unterscheidet (es wird durch L^2 anstatt durch r^2 geteilt, s. dimensionslose Darstellung). Ändern Sie deshalb den Wertebereich der **Zeitachse** auf **Minimum** = 10^{-8} und **Maximum** = 1000 .

Der Wert 10^{-8} kann als $1E-8$ eingegeben werden.

Nun müssen noch die Aquiferparameter eingestellt werden. **T** und **S** haben keinen Einfluss auf den Verlauf der Typkurve (Sie können natürlich trotzdem $T=500 \text{ m}^2/\text{d}$ eintragen), der Parameter K_v/K_h verändert diesen aber. Tragen Sie deshalb für K_v/K_h den Wert $0,1$ ein.

Um die Ableitung anzuzeigen markieren Sie im Panel **Anzeigen von** die Option **Ableitung der Typkurve**. Der Graph sollte nun ungefähr wie folgt aussehen:



Interpretation

Der mit (1) markierte Bereich zeigt ein numerisches Artefakt welches bei der Lösung der Gleichung entstanden ist. In der Ableitung treten numerische Ungenauigkeiten besonders deutlich hervor. Der Zacken ist also ohne hydrogeologische Relevanz.

Die Pfeil (2) zeigt das Ende der vertikalen radialen Anströmung die durch den horizontalen Verlauf der Ableitung gekennzeichnet ist. Der Wert für t_D ist hier ungefähr 0,1.

Pfeil (3) zeigt den Beginn der pseudoradialen Anströmung an. Nach diesem Zeitpunkt ist der Ableitungsverlauf wiederum horizontal. Der Wert für t_D beträgt hier ca. 2.

Um nun die realen Zeiten zu berechnen wird die Definitionsgleichung von t_D entsprechend umgestellt:

$$t = t_D L^2 S / T$$

Somit errechnet sich das Ende der vertikalen Anströmung auf ca. 10 s und der Beginn der pseudoradialen Anströmung auf ca. 195 s. Kawecki gibt für das Ende der vertikalen Anströmung eine Wert von 13 s und für den Beginn der pseudoradialen Anströmung 150 s an. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren und der Ungenauigkeit beim Ablesen der Werte aus dem Graph stimmen diese Werte sehr gut überein.

6.10 Kluftaquifer

Datei: KLUFTAQUIFER

Literatur: Moench (1984)

In diesem Beispiel wird das Doppelporositätsmodell zur Berechnung der Aquiferparameter verwendet. Da hierbei 4 Parameter (T , S , σ , Λ) angepasst werden müssen, ist vor einer automatischen Anpassung ein Herantasten an die realen Werte erforderlich, da sonst vom Programm keine brauchbare Lösung ermittelt wird. Zur Ermittlung dieser Startparameter wird in dieser Übung die Ableitung der Messwerte verwendet, da deren Verlauf charakteristischer ist als der Verlauf der Messwerte selbst.

Das Beispiel wurde von Moench zur Demonstration seines Auswertverfahrens verwendet, welches zusätzlich noch Skin-Effekte am Übergang Matrix-Kluftsystem berücksichtigt.

Versuchsdaten eingeben

Se können entweder die Datei KLUFTAQUIFER öffnen oder die Versuchsdaten manuell eingeben. Dazu erstellen Sie eine neue Datei, und legen 2 Brunnen an:

Name	X [m]	Y [m]	R (Filterradius) [m]
UE-25b#1	0	0	0,11
UE-25a#1	110	0	

Der Brunnen UE-25b#1 ist der Pumpbrunnen. Tragen Sie nun noch die **Aquifermächtigkeit** von 400 m ein und ändern ggf. die Maßeinheit für **Zeit** auf **Minute**.

Wechseln Sie nun auf die Seite **Förderrate** und geben $0,0358 \text{ m}^3/\text{s}$ an.

Die Wasserspiegelmessungen liegen nur als Absenkungsbeträge vor, deshalb tragen sie jeweils 0 für die **Ruhewasserspiegel** ein und wählen **Zeit-Wasserspiegel (Abstich)** als Bezugssystem. Die Messungen liegen auch als Excel-Dateien im Beispiel-Verzeichnis vor.

t [min]	s [m]	t [min]	s [m]	t [min]	s [m]
0,05	2,513	5	8,24	180	9
0,1	3,769	6	8,32	200	9,02
0,15	4,583	7	8,41	240	9,04
0,2	4,858	8	8,46	300	9,07
0,25	5,003	9	8,54	400	9,11
0,3	5,119	10	8,62	500	9,14
0,35	5,23	12	8,67	600	9,17
0,4	5,39	14	8,7	700	9,18
0,45	5,542	16	8,74	800	9,21
0,5	5,69	18	8,76	900	9,25
0,6	5,96	20	8,77	1000	9,3
0,7	6,19	25	8,81	1200	9,44
0,8	6,42	30	8,84	1400	9,55
0,9	6,59	35	8,84	1600	9,64
1	6,74	40	8,86	1800	9,74
1,2	6,96	50	8,86	2000	9,78
1,4	7,17	60	8,9	2200	9,8
1,6	7,33	70	8,91	2400	9,84
1,8	7,45	80	8,92	2600	9,93
2	7,56	90	8,93	2800	10,03
2,5	7,76	100	8,95	3000	10,08
3	7,93	120	8,97	3500	10,26
3,5	8,03	140	8,98	4000	10,3
4	8,12	160	8,99	4200	10,41

Messwerte am Brunnen UE-25b#1 (Pumpbrunnen), Daten auch in UE25B.XLS

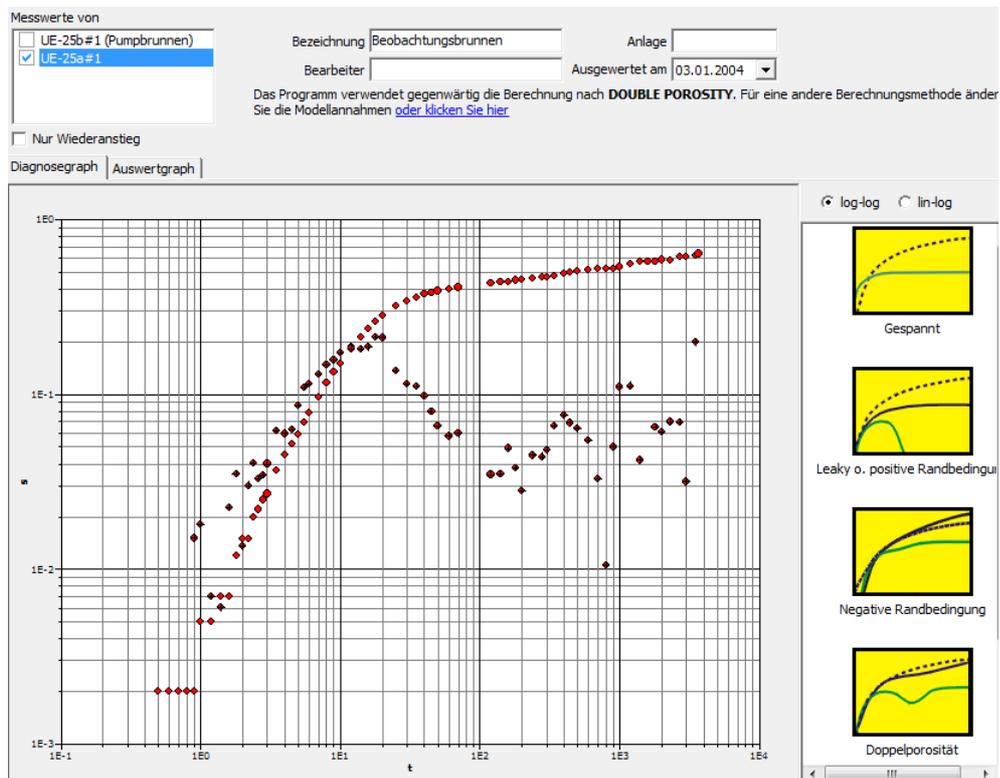
t [min]	s [m]	t [min]	s [m]	t [min]	s [m]
0,5	0,002	7	0,097	240	0,461
0,6	0,002	8	0,116	280	0,468
0,7	0,002	9	0,134	300	0,471
0,8	0,002	10	0,151	340	0,478
0,9	0,002	12	0,186	400	0,491
1	0,005	14	0,213	440	0,498
1,2	0,005	16	0,238	500	0,506
1,4	0,007	18	0,26	600	0,518
1,6	0,007	20	0,285	700	0,525
1,8	0,012	25	0,32	800	0,528

2	0,015	30	0,342	900	0,528
2,2	0,015	35	0,359	1000	0,538
2,4	0,02	40	0,374	1200	0,563
2,6	0,022	45	0,384	1400	0,577
2,8	0,025	50	0,392	1600	0,577
3	0,027	60	0,401	1800	0,577
3,5	0,037	70	0,411	2000	0,59
4	0,045	120	0,434	2300	0,587
4,5	0,052	140	0,439	2700	0,615
5	0,059	160	0,444	3000	0,615
5,5	0,069	180	0,451	3500	0,627
6	0,079	200	0,453	3680	0,639

Messwerte am Brunnen UE-25a#1 (Beobachtungsbrunnen, $r=110$ m), Daten auch in UE25A.XLS

Diagnosegraph verwenden

Nachdem alle Messungen eingegeben bzw. eingelesen wurden kann es an die Auswertung gehen. Wählen Sie die Messwerte des Beobachtungsbrunnens **UE-25a** zum Anzeigen aus und gehen auf die Seite **Diagnosegraph**.



Hier sehen Sie auf der rechten Seite charakteristische Verläufe der Absenkung und der Ableitung der Absenkung für unterschiedliche Aquifertypen. Um den Doppelporositäts-Verlauf zu sehen müssen Sie u.U. ein wenig nach unten scrollen. In der doppeltlogarithmischen Darstellung zeigen die Ableitungswerte (die durchkreuzten roten Kreise bzw. die blaue Linie) das typische erste lokale Maximum. Auch das darauf folgende lokale Minimum ist noch recht deutlich zu erkennen, während der Übergang zur Konstanten nicht sehr gut ausgeprägt ist.

Dieses Beispiel wurde von Moench allerdings auch zur Demonstration eines Kluftaquifers mit Skin-Effekt am Übergang Matrix-Kluft ausgewählt, und entspricht somit nicht der „reinen Lehre“ des Doppelporositätsmodells.

Auswerten mit Hilfe der Ableitung

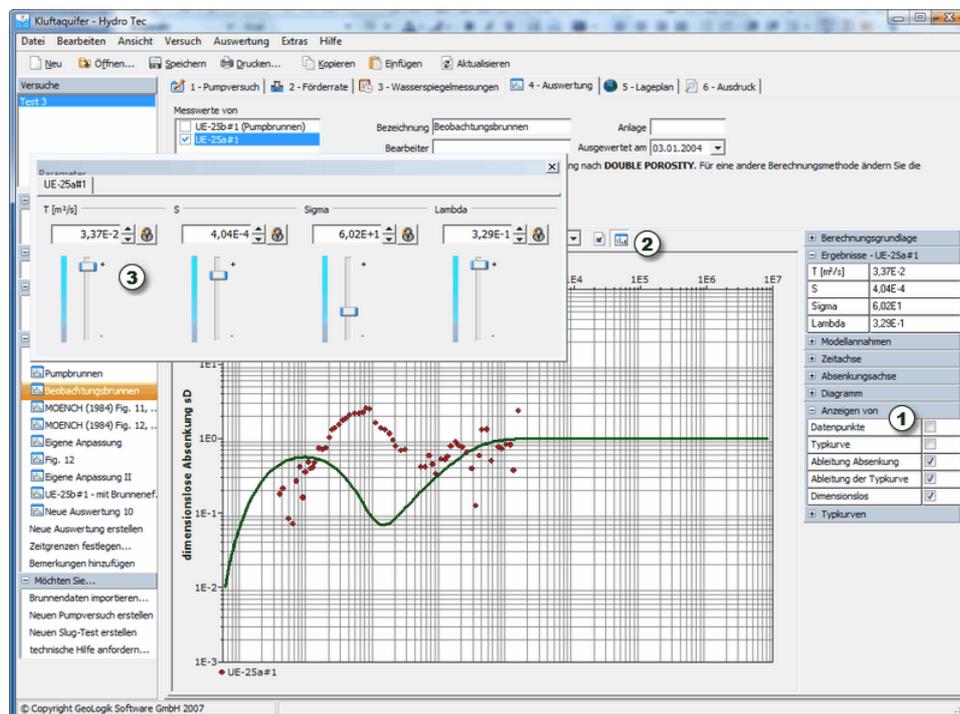
Gehen Sie vom **Diagnosegraph** zu dem **Auswertgraph**. Expandieren Sie das Panel **Anzeigen von** (1), welches sich rechts vom Graphen befindet. Markieren Sie die Optionen **Ableitung Absenkung**, **Ableitung der Typkurve** und **Dimensionslos** und entfernen Sie die Markierungen unter **Datenpunkte** und **Typkurve**.

Beim Markieren der Option **Dimensionslos** ändert Hydro Tec das Aussehen des Graphen wie in einer bestimmten Darstellungsvorlage angegeben. Unter **Extras/Optionen** befindet sich auf der Seite **Programmumgebung** die entsprechende Auswahlliste **Vorlage beim Wechsel auf dimensionslose Darstellung**.

Wählen Sie nun **klüftig** als **Aquifertyp** aus, damit das Programm das Doppelporositätsmodell verwendet.

Parameter Schnelleinstellung

Klicken Sie jetzt auf des entsprechende Icon (2) zur Anzeige des Parameter-Fensters (3).



Im Parameter-Fenster finden Sie 4 vertikal angeordnete Schieberegler zur Schnelleinstellung der Aquiferparameter. Verwenden Sie die Maus um die Werte zu verändern. Sie können dabei folgende Beobachtungen machen:

- T: Transmissivität; damit bewegen sich die Punkte diagonal durch den Graphen
- S: Speicherkoeffizient; damit bewegen sich die Punkte horizontal durch den Graphen
- Sigma: σ , das Verhältnis zwischen Speicherkoeffizient Matrix zu Speicherkoeffizient Kluftsystem. Dadurch verändert sich die Tiefe des lokalen Minimums.
- Lambda: Λ ist ein Maß dafür, wie schnell die Matrix auf den Druckabfall reagiert und in das Kluftsystem entwässert. Dadurch verändert sich die Position des lokalen Minimums in horizontaler Richtung.

Experimentieren Sie nun ein wenig mit den Schieberegler. Sie können auch den Cursor in eines der Eingabefelder bewegen und die Cursorstasten \downarrow und \uparrow verwenden um die Werte zu ändern. Dabei werden die Werte mit dem Faktor 1,5 multipliziert bzw. dividiert.

Sie sollten nun die Parameter manuell anpassen. Dies geht z.B. recht gut für T und S. Sperren Sie nach der manuellen Anpassung diese beiden Parameter und lassen das Programm nun σ und Λ optimieren indem Sie auf die Schaltfläche **Auswerten** oberhalb des Auswertgraphen klicken (u.U. müssen Sie das Parameter-Fenster ein wenig zur Seite schieben, in obiger Abbildung ist diese verdeckt).

Hydro Tec ermittelt für diesen Versuch folgende Aquiferparameter:

T	10-2 m ² /s
S	9,1 × 10 ⁻⁴
σ	60
Λ	0,33

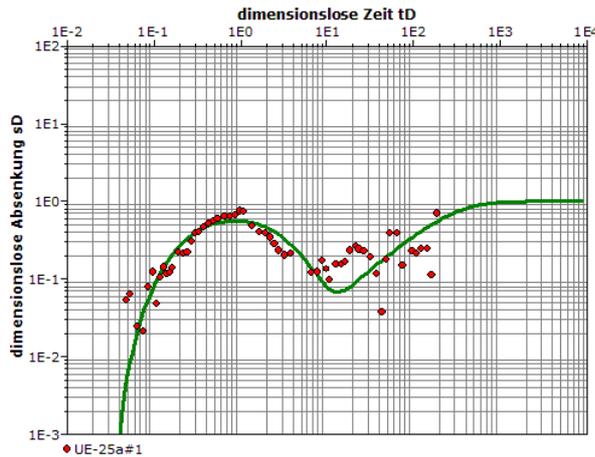


Abb.: Anpassung der Ableitungswerte an die Typkurve.

Normale Zeit-Absenkungs-Darstellung

Sie können nun, wenn gewünscht, zur „normalen“ Ansicht zurückschalten, d.h. die Ableitungen wieder ausblenden und dafür die realen Werte bzw. die Typkurve wieder anzeigen. Die Anpassung ist hervorragend gelungen!



Beachten Sie, dass beim Ausschalten der Option **Dimensionslos** keine Darstellungsvorlage automatisch angewandt wird. Sie müssen deshalb die Achsenbeschriftung manuell ändern, um beispielsweise die korrekten Maßeinheiten anzuzeigen.

6.10.1 Auswertung mit Skin-Effekt

Ein gutes Mittel um Hydro Tec besser kennen zu lernen ist das Nachstellen einer in der Literatur dokumentierten Auswertung. MOENCH (1984) liefert praktischerweise neben der Methodik auch gleich ein Fallbeispiel mit.

Umrechnen der Parameter

Folgende Aquiferparameter sind von Moench für den Aquifer errechnet worden:

$$K: 1 \times 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

$$S_s: 1,5 \times 10^{-6} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

Da Hydro Tec mit T anstatt K und S anstatt S_s (spez. Speicherkoeffizient) rechnet müssen die Werte mit der Aquifermächtigkeit, in diesem Fall 400 m multipliziert werden:

$$T = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s} \times 400 \text{ m} = 0,004 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \times 400 \text{ m} = 0,0006$$

Die Typkurven wurden gezeichnet bei folgenden Parametern:

$$S_F: 1,0$$

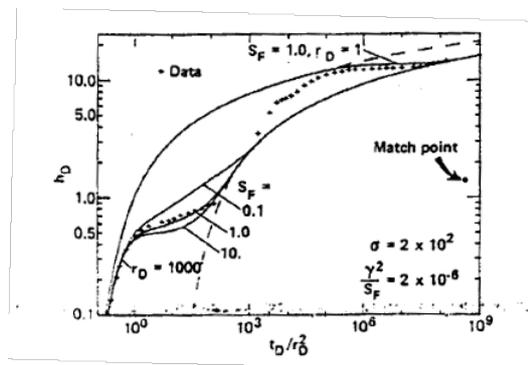
$$\sigma: 200$$

$$\gamma^2/S_F: 2 \times 10^{-6}$$

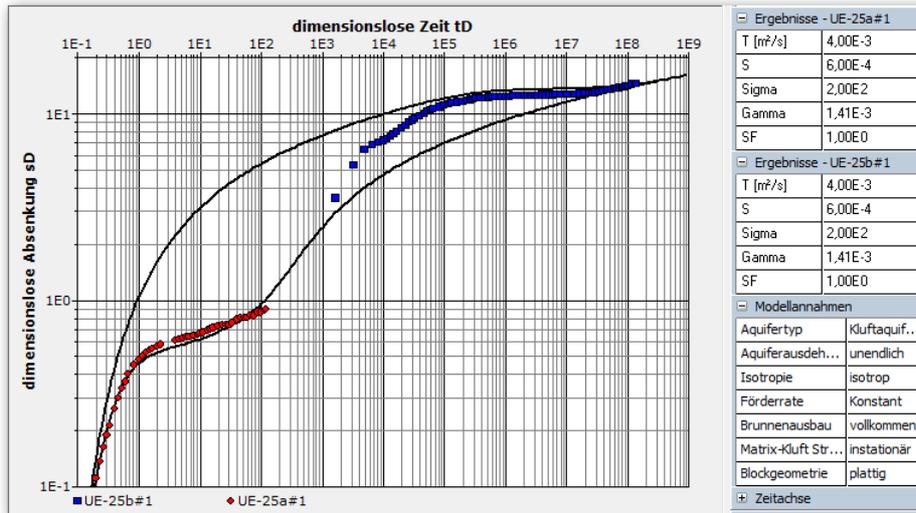
S_F und σ sind so in Hydro Tec vorhanden, die Angabe zu γ^2/S_F muss jedoch in γ umgerechnet werden:

$$\gamma: 1,414 \times 10^{-3}$$

Die Anpassung sieht bei Moench wie folgt aus:

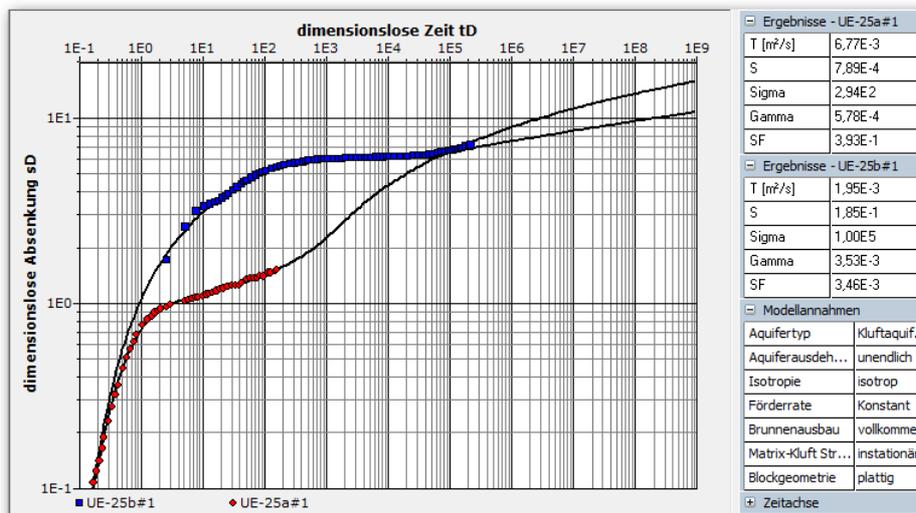


Hydro Tec liefert beim Eintrag der oben berechneten Parameter (T, S, σ , γ , S_F) das identische Abbild:



Eigene Anpassung

Ausgehend von der Moench-Auswertung ist es nun interessant zu sehen, was für Ergebnisse die automatische Anpassung im Programm liefert. Ausgehend von den Startparametern der Moench-Auswertung liefert das Programm folgende Anpassung:



Diese sieht aus den ersten Blick besser aus. Leider ist sie teilweise nicht plausibel, da bei der Messstelle UE-25b ein Speicherkoeffizient von 0,185 für das Kluftsystem ermittelt wurde. Bei einem σ von 10^5 ergibt dies für S' (Speicherkoeffizient Blöcke) einen Wert von 18500, was vollkommen unmöglich ist.

Dies begründet sich darin, dass die Messwerte aus dem Pumpbrunnen selbst stammen. Dort lassen sich keine realistischen Speicherkoeffizienten berechnen, Moench hat in seiner finalen Auswertung darum auch Brunnenspeicherung berücksichtigt.

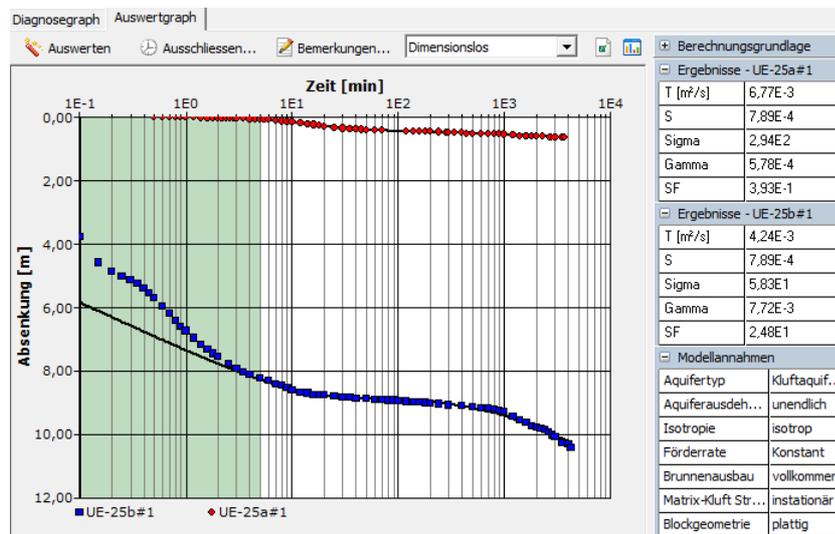
Lassen Sie uns nun die Messungen der ersten 5 Minuten beim Pumpbrunnen aus der automatischen Anpassung herausnehmen. Die Messpunkte werden dabei weiterhin angezeigt, jedoch bei der Anpassung nicht mehr berücksichtigt.

Markieren Sie in der Liste **Messwerte von den Pumpbrunnen UE25b#1**. Klicken Sie dann auf **Ausschließen** oberhalb des Graphen um das Fenster **Datenpunkte von der automatischen Anpassung ausschliessen** aufzurufen. Tragen Sie dort für **Beginn [min]** 0 und für **Ende [min]** 5 ein und klicken auf **Hinzufügen** um den Zeitraum in Liste der Zeitgrenzen aufzunehmen. Schließen Sie da Fenster dann mit OK.

Tragen Sie nun als Startparameter für UE-25b#1 nochmals die Moench-Werte ein:

Ergebnisse - UE-25b#1	
T [m ² /s]	4,00E-3
S	6,00E-4
Sigma	2,00E2
Gamma	1,41E-3
SF	1,00E0

Klicken Sie nun auf Auswerten um die automatische Anpassung zu starten. Die Anpassung wird u.U. nicht erfolgreich sein, was an der Anzahl der "freien" Parameter liegt. Öffnen Sie das Fenster Parameter nochmals und sperren die Parameter S und S_F durch Klick auf das Schlosssymbol. Starten Sie die automatische Anpassung erneut. Sie können danach auch S_F wieder entsperren und die automatische Anpassung nochmals laufen lassen.



In dieser Anpassung werden die ersten 5 Minuten der Pumpzeit nicht berücksichtigt um Brunneneffekte auszuschließen. Dies ist in obiger Abbildung sehr gut daran ersichtlich, dass die berechnete Absenkung im grün hinterlegten Bereich von den Messwerten abweicht.

6.11 Spezifische Ergiebigkeit ermitteln

Datei: SPEZIFISCHE ERGIEBIGKEIT

Nur in der Pro-Version

Die Ermittlung der spezifischen Ergiebigkeit C erfolgt mittels eines Leistungspumpversuchs, in dessen Verlauf jeweils der quasistationäre Zustand der einzelnen Pumpstufen erreicht wurde. Die Messungen erfolgen am Pumpbrunnen.

Die spezifische Ergiebigkeit ist der Quotient aus der Förderrate und der dabei erreichten Absenkung (s. z. B. Langguth & Voigt (2004:116)).

Übung

Starten Sie Hydro Tec und erstellen Sie eine neue Datei. Geben Sie für die **Projektbezeichnung** *Tutorial* und für die **Bezeichnung des Pumpversuchs** *Leistungspumpversuch* an. Es müssen keine Angaben für den Brunnen gemacht werden.

Stellen Sie die **Maßeinheit** für die **Förderrate** auf **m³/d** ein.

Gehen Sie auf die Seite **2- Förderrate**. Wählen Sie eine **variable Förderrate** (1) und danach Förderrate-Wasserspiegel (2).

1 - Pumpversuch 2 - Förderrate 3 - Wasserspiegel 4 - Auswertung 5 - Lageplan 6 - Ausdruck

Brunnen 1

Förderrate [m³/d]

Konstant Variabel

Beim Erstellen neuer Auswertungen, behandeln als

Stufenpumpversuch

Konstante Förderrate (Durchschnitt = 0 m³/d)
Kann auch in den Modellannahmen geändert werden

2 Förderrate-Wasserspiegel

Ruhewasserstand [m] 0 3 Extrapolieren...

	Q [m ³ /d]	Wsp. [m]	s [m]
1	1306	5,682	5,682
2	1693	7,514	7,514
3	2423	10,577	10,577
4	3261	14,24	14,24
5	4094	18,394	18,394
6	5019	23,325	23,325
7			

Tragen Sie einen Ruhewasserspiegel (3) von 0 m ein und danach die folgenden Werte (4):

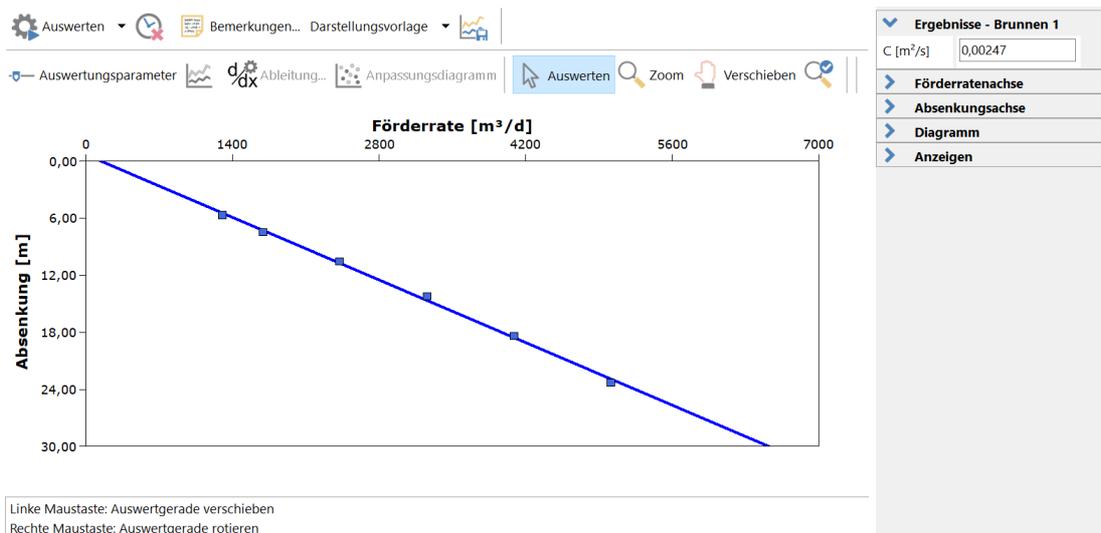
Förderrate [m³/d] Wasserspiegel [m]

1306	5,682
1693	7,514
2423	10,577
3261	14,240
4094	18,394
5019	23,325

Auswerten

Klicken Sie nun im Menü **Auswertung** auf **Neue Auswertung im Pumpbrunnen/Berechnung der spez. Ergiebigkeit**. Der Auswertgraph zeigt Q auf der X-Achse und s auf der Y-Achse. Die bestmögliche Anpassung wurde bereits automatisch vorgenommen. Sie können die Auswertgerade rotieren indem Sie den Wert C ändern.

Um die Auswertgerade zu verschieben bewegen Sie den Mauszeiger auf die Gerade, drücken die linke Maustaste, halten diese gedrückt und bewegen die Maus in die gewünschte Richtung.



In diesem Beispiel beträgt $C = 0,00247 \text{ m}^2/\text{s}$.

6.12 Brunnenverluste errechnen

Datei: BRUNNENVERLUSTE

Nur in der Pro-Version

Es gibt zur Bestimmung der Brunnenverluste zwei Übungen:

1. Stufenpumpversuch mit Erreichen des stationärer Zustands
2. Stufenpumpversuch im instationären Zustand

6.12.1 Stationärer Zustand

Wurde im Pumpversuch bei jeder Pumpstufe der stationäre Zustand erreicht erfolgt die Auswertung in Hydro Tec wie folgt (Daten aus LANGGUTH & VOIGT (1980)):

- Legen Sie eine neue Datei an bzw. erstellen in einer vorhandenen Datei einen neuen Pumpversuch und wählen dort den Pumpbrunnen aus. Sie müssen keine Angaben zur Lage oder Brunnengeometrie machen, da diese in die Berechnung nicht einfließen.
- Aus der Seite **Förderrate** wählen Sie **variabel** (1) um festzulegen, dass es sich um einen mehrstufigen Pumpversuch handelt.
- Wählen Sie **Förderrate-Wasserspiegel** (2) aus um die Absenkungen für den Beharrungszustand einzugeben. Da nur die Absenkungen vorliegen tragen Sie für den **Ruhewasserspiegel** 0 m ein (3). Füllen Sie dann die Tabelle mit den 4 Wertepaaren (4) aus.

Beim Erstellen neuer Auswertungen, behandeln:

Stufenpumpversuch

Konstante Förderrate (Durchschnitt = 0 m³/s)
Kann auch in den Modellannahmen geändert werden

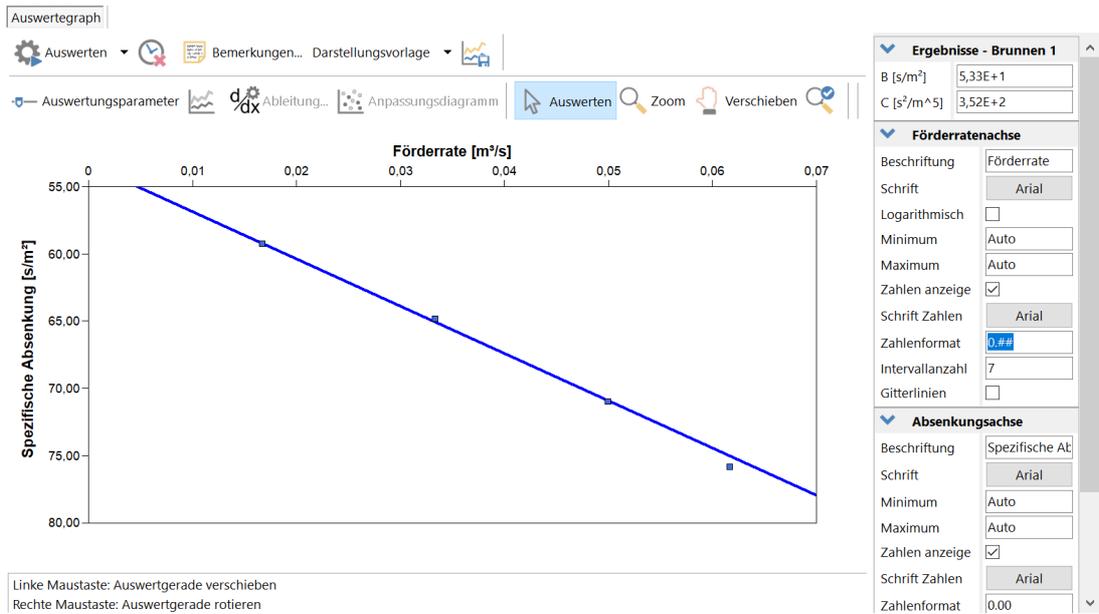
2 Förderrate-Wasserspiegel

Zeit-Wasserspiegel (Abstich)

Ruhewasserstand [m] 0 3 Extrapolieren

	Q [m ³ /s]	Wsp. [m]	s [m]
1	0,0167	0,99	0,99
2	0,0333	2,16	2,16
3	0,05	3,55	3,55
4	0,0617	4,68	4,68
5			

- Um den eigentlichen Auswertgraphen zu erstellen wählen Sie **Auswertung/Neue Auswertung für den Pumpbrunnen/Brunnenverluste**.



- Fertig! Sie können die Auswertgerade mit der Maus verschieben oder rotieren, Die Parameter B und C werden wie gewohnt rechts im Panel **Ergebnisse** angezeigt.

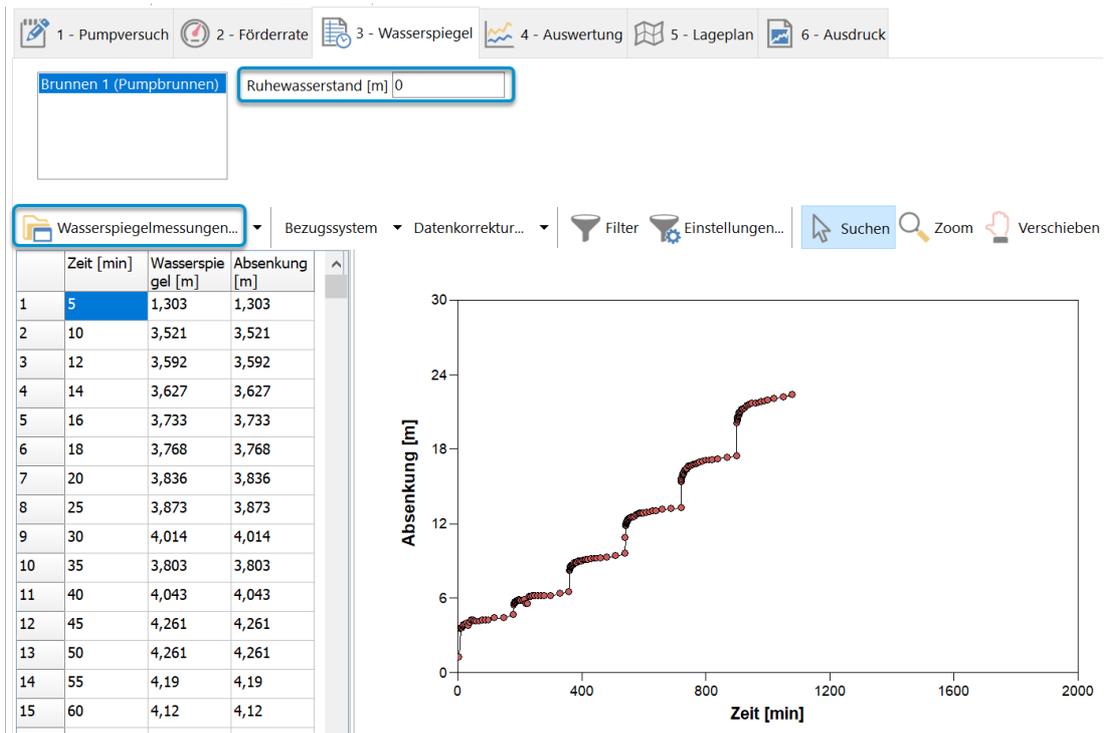
6.12.2 Instationärer Zustand

Die Daten dieses Beispiels stammen aus KRUSEMAN & DE RIDDER (1991:203-205).

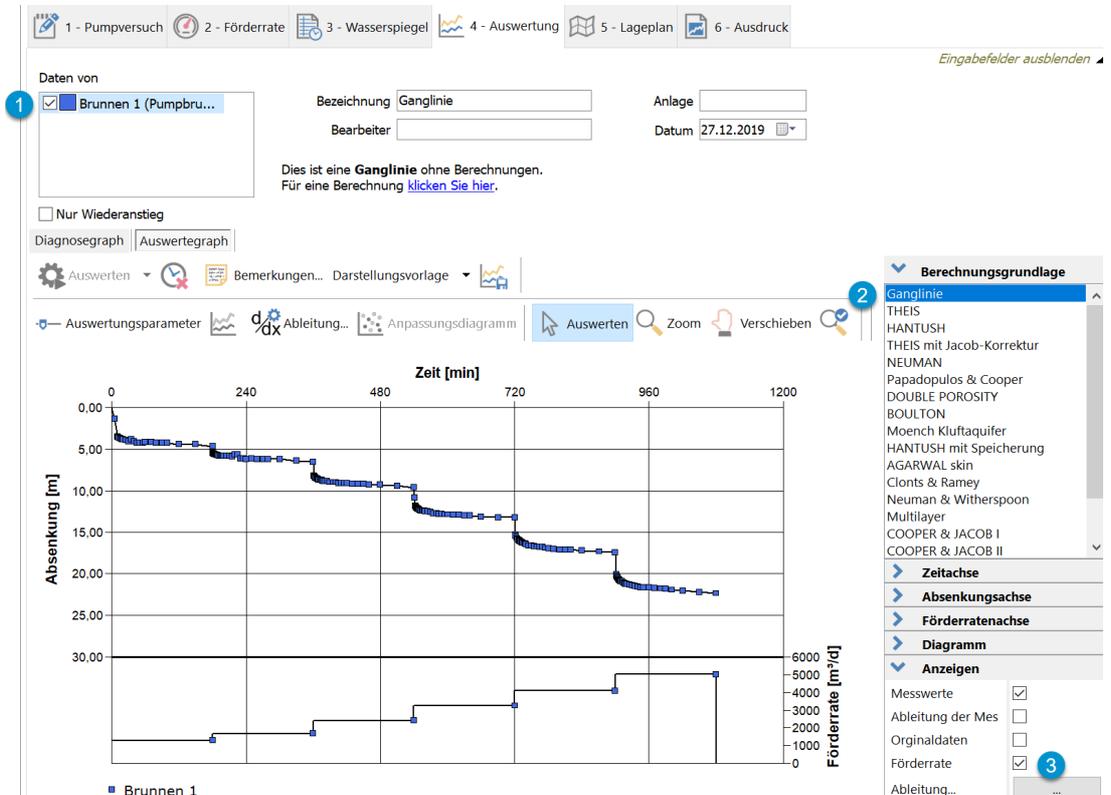
- Legen Sie eine neue Datei an bzw. erstellen in einer vorhandenen Datei einen neuen Pumpversuch und wählen dort den Pumpbrunnen aus.
- Stellen Sie die Maßeinheiten für **Zeit** auf **Minute** und für die **Förderrate** auf **m³/d** ein.
- Aus der Seite **Förderrate** wählen Sie **variabel** um festzulegen dass es sich um einen mehrstufigen Pumpversuch handelt.
- Wählen Sie ggf. **Zeit-Förderrate** aus der Auswahlliste aus und tragen die folgenden Werte ein:

Zeit [min]	Förderrate [m³/d]
180	1306
360	1693
540	2423
720	3261
900	4094
1080	5019

- Gehen Sie nun zur Seite **Wasserspiegel** um die Absenkungsdaten einzutragen. Geben Sie dort für den **Ruhewasserspiegel** 0 m ein. Die Messungen liegen als Excel-Datei vor, Sie brauchen Sie also nichts einzutippen. Klicken Sie auf **Wasserspiegelmessungen** und wählen Sie Datei BRUNNENVERLUSTE.XLS aus.

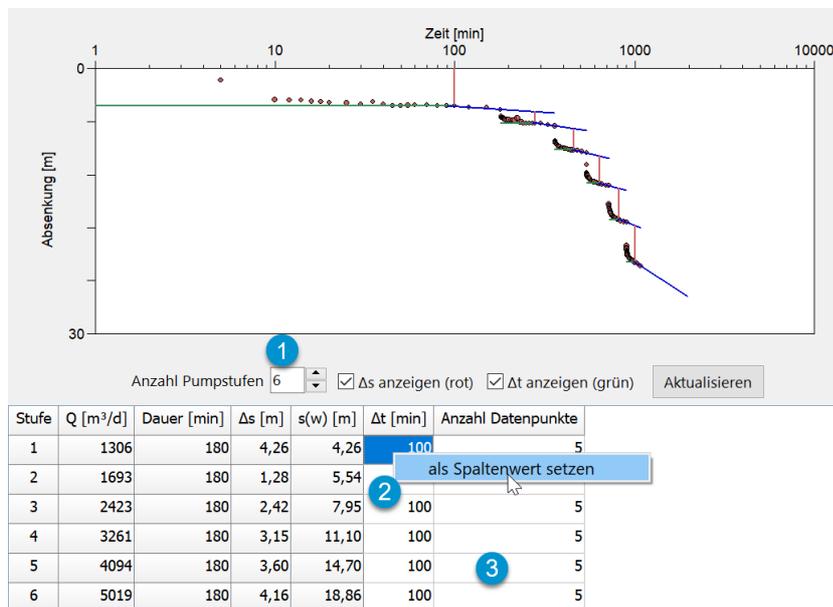


- Vor der eigentlichen Bestimmung der Brunnenverluste wollen wir uns kurz einen Überblick über den Versuchsverlauf verschaffen, dazu erstellen wir eine Ganglinie. Gehen Sie auf die Seite **Auswertung**. Wählen Sie unter **Daten von** den Pumpbrunnen aus um die eben eingelesenen Daten anzuzeigen (1). Ändern die **Berechnungsgrundlage** auf **Ganglinie** (2), wir wollen ja keine Aquiferparameter errechnen. Im Panel **Anzeigen** setzen Sie einen Haken bei **Förderrate** um diese mit anzuzeigen (3). Eventuell müssen Sie noch die Achsen ein wenig skalieren um folgendes Ergebnis zu erhalten:

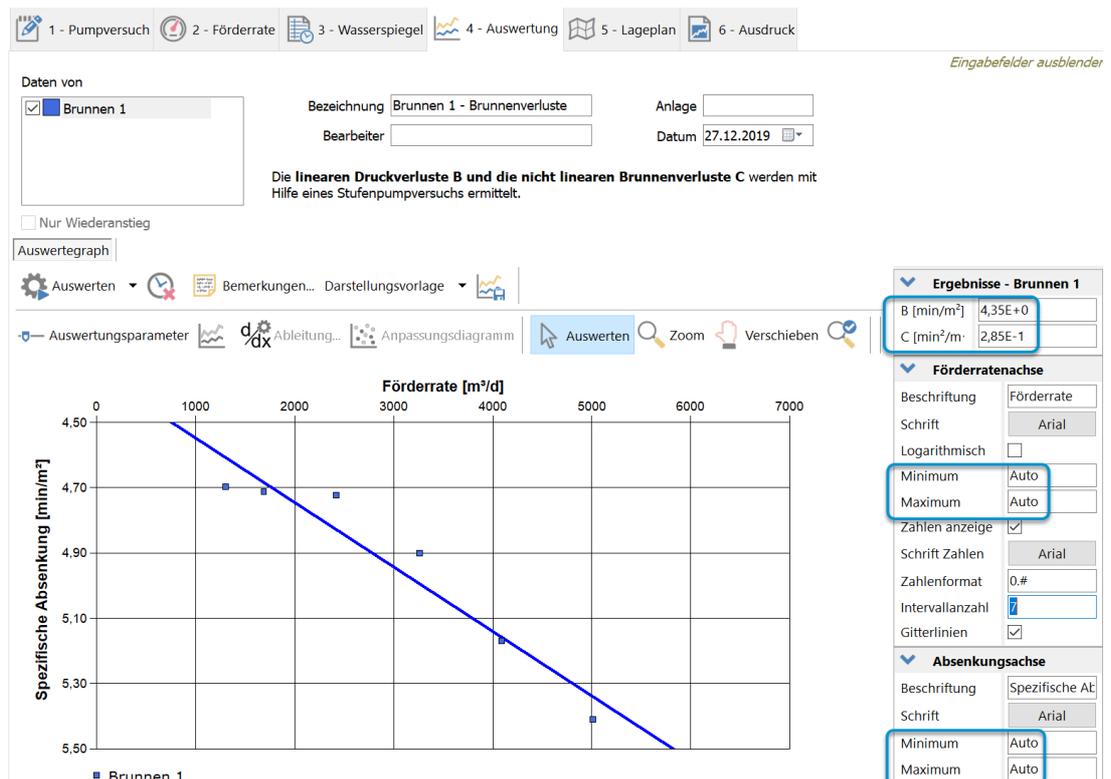


- Nun zur eigentlichen Bestimmung der Brunnenverluste. Wie Sie am Beispiel des stationären Strömungszustandes gesehen haben erfolgt die Eingabe der notwendigen Daten auf der Seite **Förderrate** in der Auswahl **Förderrate-Wasserspiegel**. Nun liegen uns dazu keine Daten vor, wir werden Sie nun nach der Methode von Hantush-Bierschenk extrapolieren. Klicken Sie dazu auf die Schaltfläche **Extrapolieren**.

- Es erscheint nun das Fenster **Extrapolieren von Förderrate-Wasserspiegel**. Geben Sie dort die **Anzahl der Pumpstufen** (1) ein die Sie verwenden wollen, in diesem Beispiel alle 6. Geben Sie in der Tabelle das Zeitintervall Δt an dem Δs bestimmt wird ein (2). Der Wert muss kleiner als die Dauer der Pumpstufe sein. Für dieses Beispiel hier tragen Sie 100 min ein. Klicken Sie dann die rechte Maustaste und wählen **als Spaltenwert setzen** um diesen Wert für alle Pumpstufen zu übernehmen. Die **Anzahl der Datenpunkte** (3) bestimmt, aus wie vielen Messwerten die Ausgleichsgerade interpoliert werden soll, dabei beginnt die Zählung am Ende jeder Pumpstufe. Diese Geraden werden im Graph blau dargestellt. Geben Sie in der Tabelle für die **Anzahl der Datenpunkte** 5 ein und verwenden wiederum die rechte Maustaste um den Wert auf die anderen Pumpstufen zu übertragen. In den Spalten für Δs und s_w finden Sie die vom Programm errechneten Werte. Details zur Berechnung stehen im Kapitel theoretische Grundlagen.



- Verlassen Sie nun das Fenster **Extrapolieren von Förderrate-Wasserspiegel** mit OK. Das Programm füllt nun die Tabelle Förderrate-Wasserspiegel mit den extrapolierten Werten.
- Das Berechnen der Brunnenverluste erfolgt nun wie im Beispiel für den stationären Zustand. Wählen Sie aus dem Menü **Auswertung** den Punkt **Neue Auswertung für den Pumpbrunnen/Brunnenverluste**. Der Auswertgraph wird nun angezeigt, ggf. müssen Sie die Achsenskalierung ändern um alle Werte und die Ausgleichsgerade zu sehen. Oben rechts stehen wie gewohnt die Ergebnisse.



- Sie können die Auswertung nun manuell anpassen indem Sie die Gerade verschieben oder rotieren oder auch direkt Werte für B und C in die Eingabefelder eintragen.
- Die Maßeinheiten der Zeit für B und C werden anhand der Angabe Zeit und nicht in der Zeit der Förderrate angegeben. Möchten Sie die Angaben in d/m^2 und d^2/m^5 dann ändern Sie die Maßeinheit für **Zeit** auf der Seite **Pumpversuch** auf **d**. Stellen Sie dabei sicher, dass die Checkbox **Umrechnen** markiert ist.

Maßeinheiten

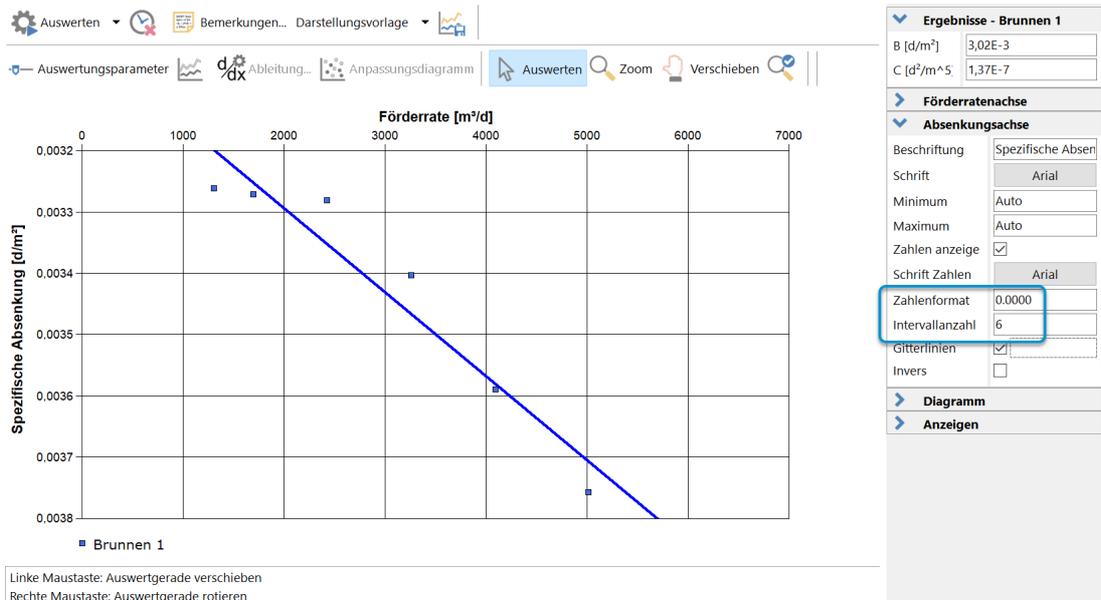
Länge (Lage) m

Zeit d

Transmissivität m^2/s

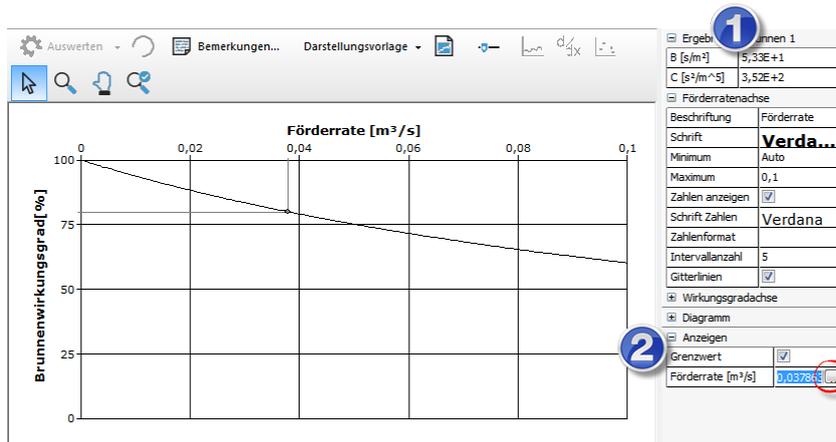
Umrechnen

Zurück im Auswertegraphen stellen Sie im Panel **Absenkungssachse** die **Intervallanzahl** auf 6 und legen das **Zahlenformat** auf 0.0000 fest. Diese Einstellungen sorgen für eine sinnvolle Beschriftung der Achse.



6.13 Diagramm des Brunnenwirkungsgrads erstellen

Verwenden Sie als Ausgangspunkt die Datei **Brunnenverluste** aus dem Kapitel Brunnenverluste errechnen.



Wählen Sie aus dem Menü **Auswertungen** den Befehle **Neue Auswertung für den Pumpbrunnen / Brunnenwirkungsgrad**. Das Programm erstellt daraufhin das Diagramm Förderrate-Brunnenwirkungsgrad; die Kennlinie im Diagramm wird mit den Werten B und C (1) der bereits vorhandenen Auswertung der Brunneneintrittsverluste berechnet, können aber auch manuell eingesetzt werden.

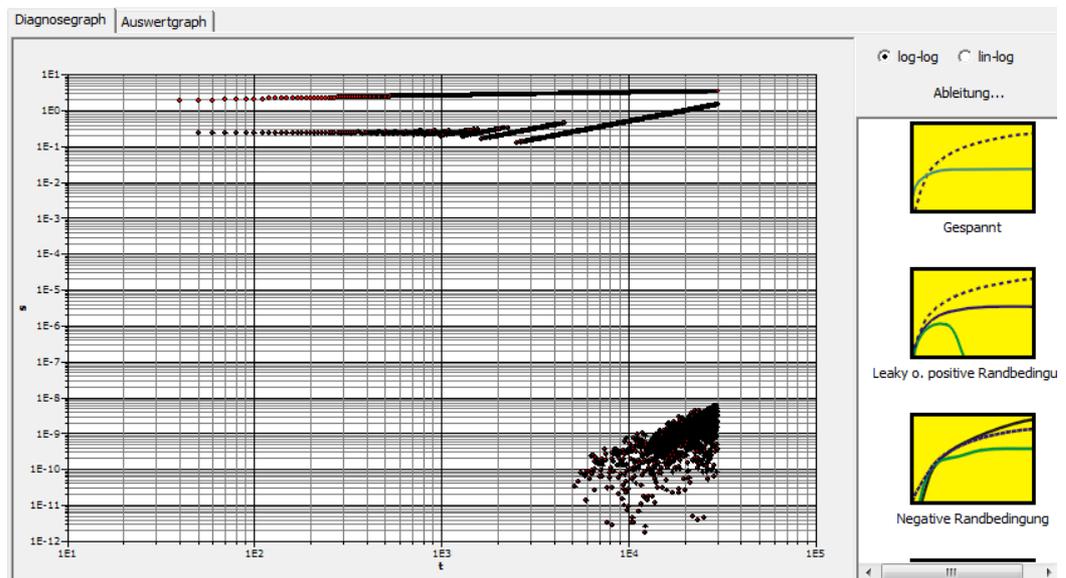
Im Panel **Anzeigen** (2) markieren Sie **Grenzwert** und gehen in das darunterliegende Feld **Förderrate**. Hier kann entweder direkt eine Förderrate eingegeben werden oder, durch Klick auf den daneben befindlichen Button, zu einem bestimmten Wirkungsgrad die entsprechende Förderrate berechnet werden. Klicken Sie auf den Button und geben 80 % für den Brunnenwirkungsgrad ein.

6.14 Ableitung glätten

Datei: ABLEITUNG

In dieser Übung verwenden Sie einen synthetischen Datensatz um die Funktionen zum Glätten der Ableitung kennen zu lernen.

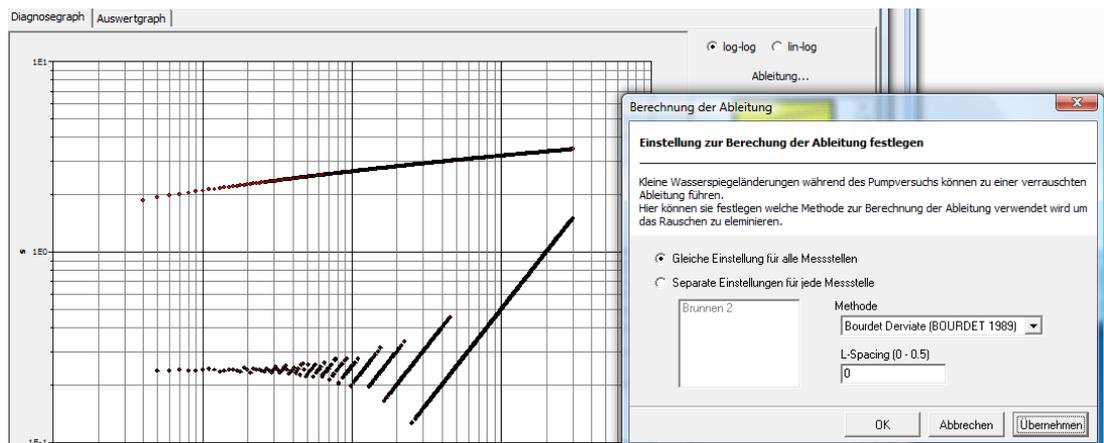
Starten Sie Hydro Tec und öffnen Sie die Datei ABLEITUNG. Gehen Sie auf die Seite 4 - **Auswertung** und zeigen Sie dort den **Diagnosegraph** an:



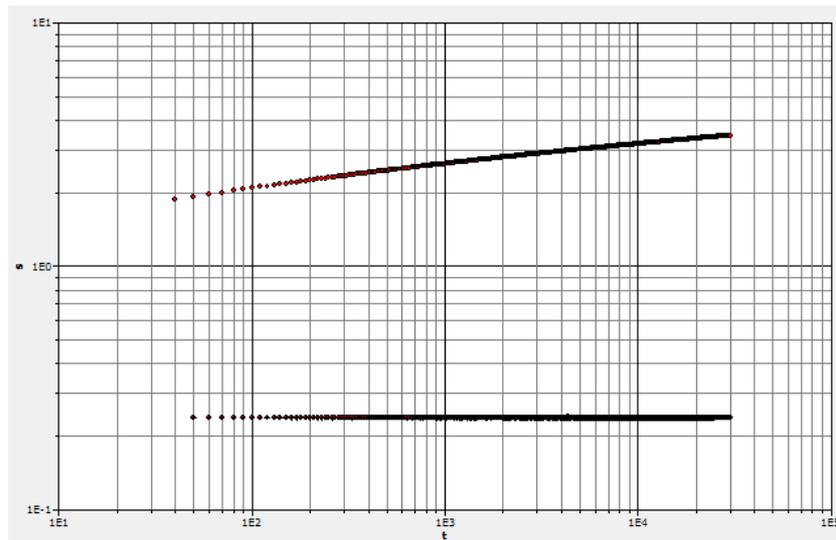
Diagnosegraph mit verrauschter Ableitung

Im Graph ist wenig zu erkennen, unten rechts taucht eine Punktwolke auf und einige Punktscharen bilden ansteigende Geraden. Um die Methodik zur Berechnung der Ableitung zu ändern klicken Sie auf **Ableitung** (rechts oberhalb der Beispielgraphen) oder wählen aus dem Menü **Auswertung** den Befehl **Ableitung**. Es öffnet sich das Fenster Berechnung der Ableitung.

Wählen Sie dort als **Methode Bourdet Derivative** aus und geben für **L-Spacing** den Wert 0 ein. Klicken Sie auf **Übernehmen** um die Änderung im Graph sichtbar zu machen ohne das Fenster zu schließen.



Die Punktwolke verschwindet daraufhin, die ansteigenden Geraden gibt es nach wie vor. Ändern Sie nun den Wert für **L-Spacing** auf 0,01 und klicken nochmals auf **Übernehmen**. Die Punkte rücken daraufhin näher zusammen. Versuchen Sie auch Werte von 0,05, 0,1 und 0,25 für L-Spacing.



Diagnosegraph mit Ableitung nach BOURDET, L-Spacing=0,25

Beim letzten Wert (L-Spacing=0,25) liegen die Ableitungen dann auf einer horizontalen Geraden und zeigen damit die charakteristische Ausprägung der radialen Anströmung im Theis-Modell (gespannt).

Wechseln Sie nun zum **Auswertgraph**. Im Panel **Anzeigen von** befinden sich die beiden Optionen zum Anzeigen der Ableitung (Absenkung, Typkurve). Markieren Sie diese um die Ableitung auch im Auswertgraph anzuzeigen.

6.15 Prognosefunktion - Vorhersage

Die Prognosefunktion erlaubt die Darstellung der Absenkungsverläufe in den Brunnen und Pegeln. Die Vorgehensweise ist ähnlich wie bei der Auswertung, jedoch werden keine Messwerte eingegeben. Eine Vorhersage beinhaltet die Angaben zur Förderrate. In einem Szenario werden dann die Aquiferparameter eingegeben und das Programm zeichnet den Absenkungsverlauf. Es können beliebig viele Szenarios für eine Vorhersage erstellt werden.

Im Gegensatz zur Auswertung eines Pumpversuchs, wo die Aquiferparameter normalerweise für jeden Messstelle separat eingestellt werden können, ist im Szenario nur ein Satz Aquiferparameter möglich. Diese werden dann auf alle Messstellen angewendet. Die Zeitspanne für die Prognose wird über die Zeitachse (Angaben Minimum und Maximum) gesteuert.

Die Werte der Absenkung werden nicht numerisch ausgegeben sondern können nur am Graphen abgelesen werden.

Im Folgenden wird eine Vorhersage, basierend auf dem Beispiel Auswertung im gespannten Aquifer, erstellt.

Vorbereitungen: Positionen und Förderrate eingeben

Öffnen Sie die Datei **Gespannt** und wählen **Versuch/Neuen Pumpversuch erstellen (Vorhersage)**.

In der Tabelle mit den Brunnen und Messstellen ändern Sie die **Brunnenfunktion** von **Brunnen 1** auf **Pumpbrunnen**.

Um einen weitere Position an der die Absenkung beobachtet werden soll hinzuzufügen klicken Sie auf **Hier klicken um einen neuen Brunnen zu erstellen**. Ändern Sie die **Brunnenbezeichnung** auf **R50** und die Koordinaten auf **X=50 m** und **Y=0 m**.

Ändern Sie noch die Maßeinheit der **Zeit** auf **h** (Stunde).

Gehen Sie nun auf die Seite **Förderrate**, wählen **variabel** und tragen in die Tabelle 4 h mit $0,0267 \text{ m}^3/\text{s}$ sowie 10 h mit $0 \text{ m}^3/\text{s}$ ein.

1 - Pumpversuch 2 - Förderrate 3 - Absenkung 4 - Lageplan 5 - Ausdruck

Brunnen 1

Förderrate [m^3/s]

Konstant

Variabel

Beim Erstellen neuer Auswertungen,

Stufenpumpversuch

Konstante Förderrate (Durchsch
Kann auch in den Modellannahme

Zeit-Förderrate

	Zeit [h]	Förderrate [m^3]
1	4	0,0267
2	10	0
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Absenkungsverlauf anzeigen

Weiter geht es auf der Seite **Absenkung**. Wählen Sie in der Liste **Anzeigen** die gewünschten Messstellen, im Screenshot unten sind dies Pegel 3b, Pegel 6 b und R50.

1 - Pumpversuch 2 - Förderrate 3 - Absenkung 4 - Lageplan 5 - Ausdruck

Eingabefelder ausblenden

Anzeigen

Brunnen 1 (Pumpbru...)

Pegel 11 b

Pegel 3 b

Pegel 6 b

R50

Bezeichnung Parameter wie Versuch

Anlage

Bearbeiter Szenario

Datum 22.10.2018

Die Vorhersage basiert auf den Modellannahmen von **THEIS**.
Verwenden Sie das Panel Modellannahmen um diese zu ändern oder [klicken Sie hier](#) um eine andere Methode zu wählen.

Bemerkungen... Darstellungsvorlage Auswertungsparameter

Auswerten Zoom Verschieben Dimensionslos

Vorhersage-Methode

THEIS

HANTUSH

THEIS mit Jacob-Korrektur

NEUMAN

DOUBLE POROSITY

BOULTON

Moench Kluftaquifer

HANTUSH mit Speicherung

Neuman & Witherspoon

Multilayer

Parameter

T [m^2/s] 1,00E-2

S 5,00E-4

Modellannahmen

Zeitachse

Absenkungsachse

Diagramm

Anzeigen

Typkurven

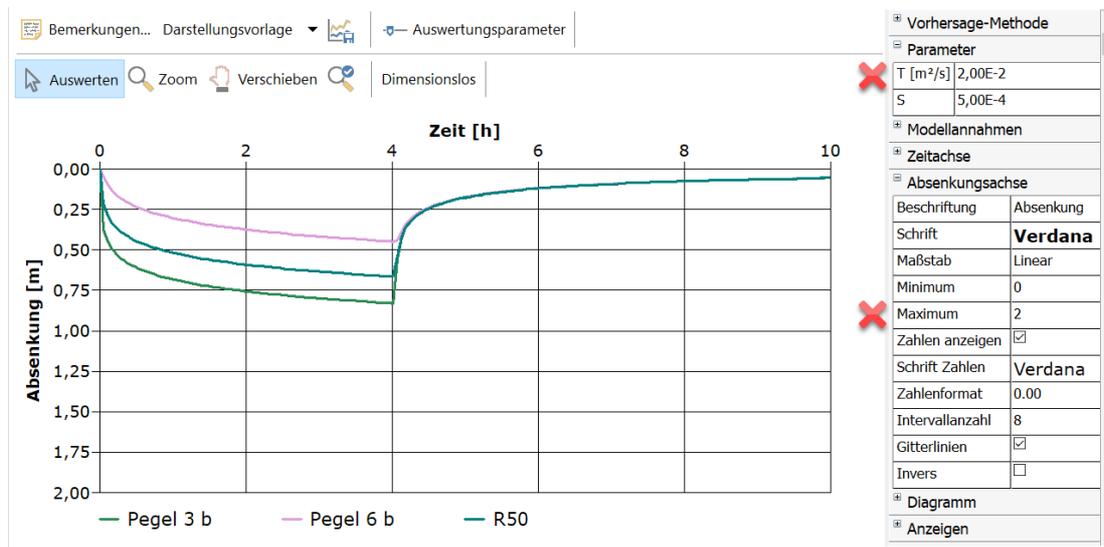
Ändern Sie im Panel **Parameter** **T** auf $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ und **S** auf $5E-4$. Diese Werte entsprechen ungefähr denen der Auswertung.

Im Panel **Zeitachse** können Sie den gewünschten Zeitraum eintragen, hier wurde das **Maximum** auf 10 h gesetzt.

Sollten die Linien der Absenkung nicht farbig dargestellt werden wählen Sie **Extras/Optionen**, gehen dort auf die Seite **Darstellung** und markieren **Typkurven in der gleichen Farbe wie die Symbole**.

Um den Absenkungsverlauf bei geänderten Aquiferparametern zu betrachten ist es am einfachsten dieses Szenario zu duplizieren und nur die Aquiferparameter zu ändern:

Wählen Sie Auswertungen/Duplizieren und ändern Sie im Panel **Parameter T** auf $0,02 \text{ m}^2/\text{s}$. Im Bild unten wurde die Absenkungsachse manuell auf 2 m skaliert um eine bessere Vergleichbarkeit mit dem Graph oben herzustellen.



Erwartungsgemäß reduziert sich die Absenkung durch die erhöhte Transmissivität. In der Beispieldatei **Gespannt mir Vorhersage** befindet sich ein weiteres Szenario (Durchlässigkeit verringert).

6.16 Slug-Test auswerten

Nur in der Pro-Version

Datei: SLUGTEST

Literatur: Fetter (2001), 195-197

Starten Sie Hydro Tec und legen eine neue Datei an. Klicken Sie dann im Menü **Versuch** auf **Neuen Slug-Test erstellen**, Hydro Tec legt daraufhin den Test an. Stellen Sie die **Maßeinheit für Länge (Messungen)** auf **ft** und für die **Transmissivität** auf **ft²/d** ein.

In der Tabelle **Brunnen und Messstelle** müssen Sie nun den bereits vorhandenen **Brunnen 1** auf **Versuchsbrunnen** setzen. Geben Sie weiterhin die Radien für r und R mit jeweils $0,083 \text{ ft}$ ein. Sie können auch L eingeben (10 ft), obwohl es von der Berechnung nicht verwendet wird.

Pumpversuch löschen

Da das Programm beim Anlegen einer Datei automatisch einen Pumpversuch erstellt, dieser hier aber nicht benötigt wird, sollten Sie diesen löschen. Klicken Sie dafür im Menü **Bearbeiten** auf **Objekt löschen/Versuch**. Wählen Sie dann im Fenster **Versuch löschen** den **Pumpversuch 1** aus und klicken auf **Löschen**.

Messwerte eingeben

Gehen Sie nun auf die Seite **Wasserspiegelmessungen** und geben dort als Ruhewasserspiegel $13,99 \text{ ft}$ und für den **Wasserspiegel bei t_0** $14,87 \text{ ft}$ ein. Tragen Sie in die Tabelle die folgenden Werte ein (Sie können auch importieren aus SLUGBRUNNEN.XLS):

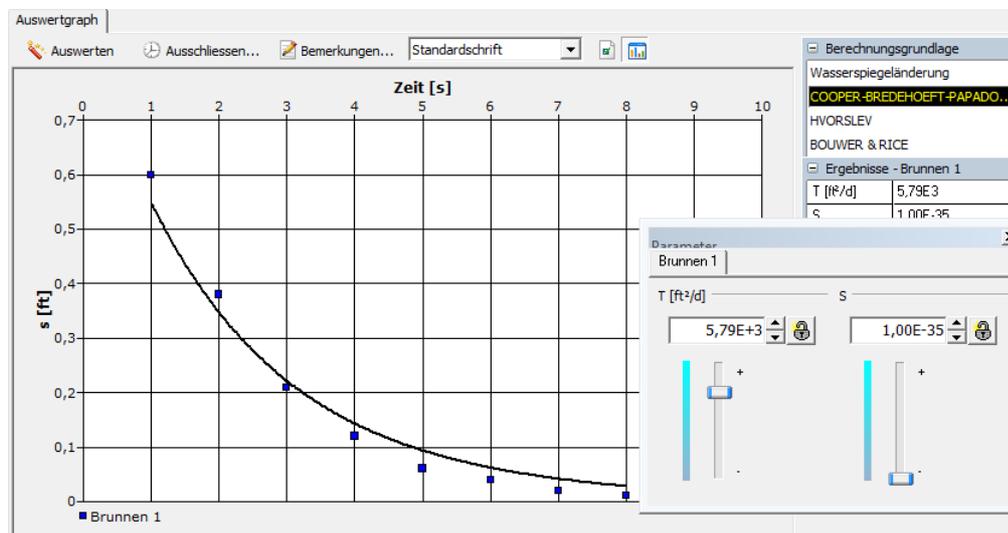
Zeit [s]	Wasserspiegel [ft]
1	14,59
2	14,37
3	14,2

4	14,11
5	14,05
6	14,03
7	14,01
8	14

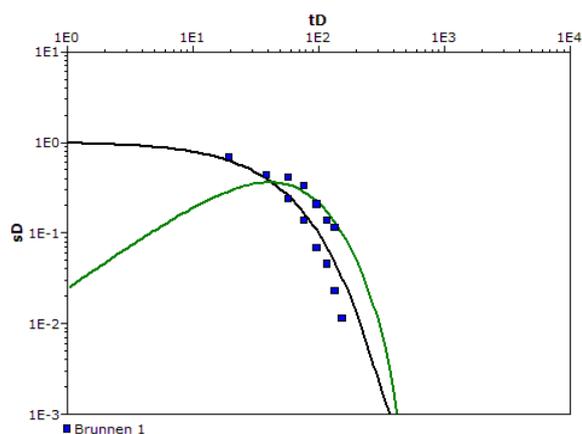
Auswerten

Klicken Sie dann auf **Neue Auswertung erstellen** im Menü **Auswertung**. Sie erhalten dann einen Graphen Zeit-Wasserspiegeländerung. Wählen Sie im Panel **Berechnungsgrundlage** die Methode von **COOPER-BREDEHOEFT-PAPADOPULOS**.

Die automatische Anpassung, ausgelöst durch eine Klick auf die Schaltfläche **Auswerten** ist erfolgreich. Sollte dies nicht der Fall sein müssen Sie mit den Startparametern ein wenig nachhelfen. Klicken Sie dazu auf das Icon zur Anzeige des Parameter-Fensters. S ist in diesem Fall sehr klein, bewegen Sie den Schieberegler ganz nach unten. T stellen Sie so ein, dass die Kurve sich den Messwerten anpasst. Nun sollte auch die automatische Anpassung funktionieren.



Erzeugen Sie nun eine weitere Auswertung und nehmen die Auswertung in dimensionsloser Ansicht vor, wie im Beispiel Kluftaquifer beschrieben.

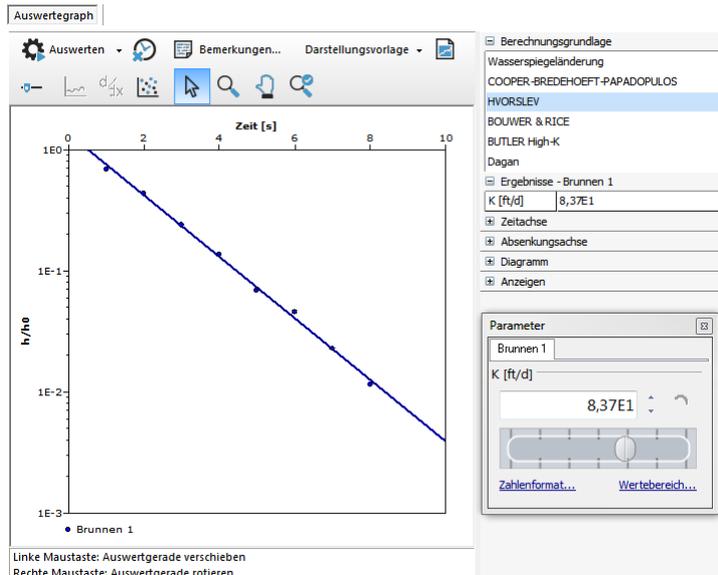


Geradlinienverfahren anwenden

In Hydro Tec sind auch die Verfahren nach Hvorslev, Bouwer & Rice und Dagan implementiert. Um sie anzuwenden, klicken Sie auf **Auswertung – Neue Auswertung** erstellen und danach im Panel **Berechnungsgrundlage** auf **HVORSLEV**. Die Methoden benötigen sowohl die Länge der Filterstrecke als auch die Aquifermächtigkeit. Sollten diese Werte noch nicht eingegeben sein, zeigt das Programm eine entsprechende Meldung an.

Steigung ändern

Beim Umstellen auf eine der beiden Geradlinienmethoden nimmt das Programm automatisch eine Anpassung der Auswertgeraden an die Messwerte vor. Um die Steigung der Geraden zu ändern, ändern Sie den K-Wert, entweder direkt durch Eingabe eines Wertes oder mit Hilfe des Schiebereglers.



Gerade verschieben

Um die Auswertgerade zu verschieben bewegen Sie den Mauszeiger auf die Gerade, drücken die linke Maustaste, halten diese gedrückt und bewegen die Maus in die gewünschte Richtung. Der Versatz hat keine Auswirkung auf den K-Wert, in dessen Berechnung fließt nur die Geradensteigung ein.

6.16.1 Butler High-K

Nur in der Pro-Version

Datei: High K

Literatur: BUTLER (2003)

Starten Sie Hydro Tec und legen eine neue Datei an. Klicken Sie dann im Menü **Versuch** auf **Neuen Slug-Test erstellen**, Hydro Tec legt daraufhin den Test an. Stellen Sie die **Maßeinheiten für Länge** (Lage und Messungen) auf **Meter** und für die **Zeit** auf **Sekunde** ein.

Geben sie für die **Aquifermächtigkeit** 10,67 m ein und legen die **Art** des Aquifers auf **frei** fest.

In der Tabelle **Brunnen und Messstelle** müssen Sie nun den bereits vorhandenen **Brunnen 1** auf **Versuchsbrunnen** setzen. Wählen Sie für **Ausbau unvollkommen** und geben die folgende Ausbaugeometrie ein:

$$R = 0,01667 \text{ m}$$

$$L = 0,2286 \text{ m}$$

$$b = 5,2286 \text{ m}$$

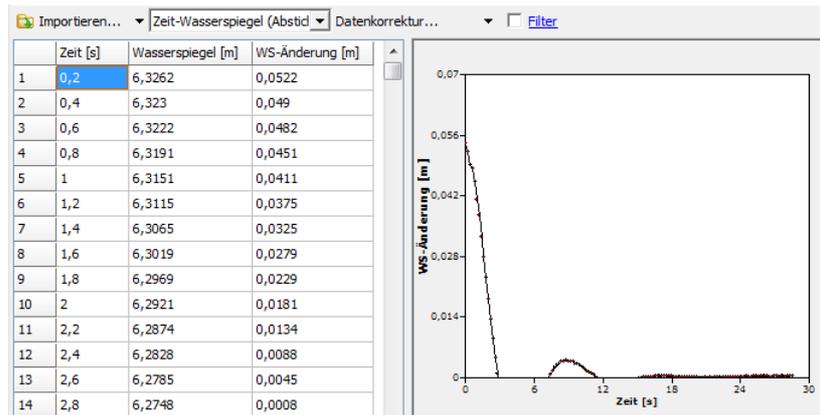
$$r = 0,0186 \text{ m}$$

Es handelt sich um aus dem angloamerikanischen System umgerechnete Werte, deshalb vielen Nachkommastellen.

Wechseln Sie nun auf die Seite **2 - Wasserspiegelmessungen**.

Geben Sie für den **Ruhewasserspiegel** 6,274 m und für **WS bei t=0** den Wert 6,328 m ein.

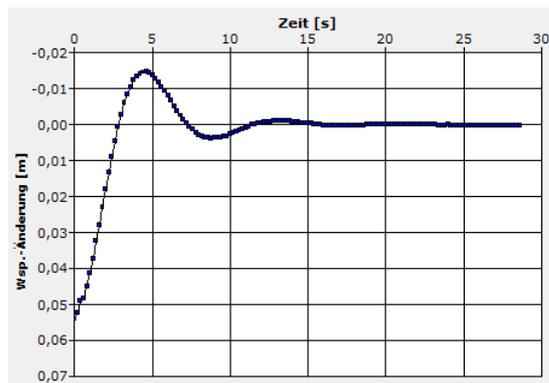
Die Messwerte befinden sich in der Datei BUTLER.XLS im Verzeichnis der Beispiele. Klicken Sie auf **Importieren**, wählen diese Datei aus und klicken auf **Öffnen** um den Importvorgang zu starten.



Gehen Sie nun auf die Seite **3 - Auswertung**. Der Graph dort stellt die Wasserspiegeländerung gegen die Zeit dar.

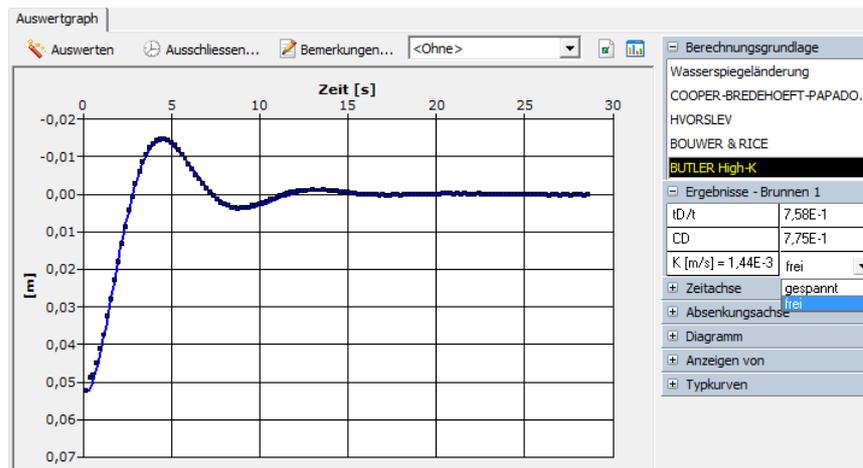
Geben Sie für die **Bezeichnung** *Versuchsverlauf* ein.

Da die Messungen oszillieren sind die Datenpunkte teilweise nicht sichtbar. Ändern Sie dies in dem Sie im Panel **Absenkungsachse** einen Wert für **Minimum** von $-0,02$ m eingeben (Minuszeichen beachten). Bei dieser Gelegenheit können Sie auch gleich die **Intervallanzahl** auf 9 setzen, damit alle 0,01 m eine Achsenbeschriftung erfolgt (die Achse reicht nun von $-0,02$ bis $0,07$ m). Der Graph stellt sich wie folgt dar:

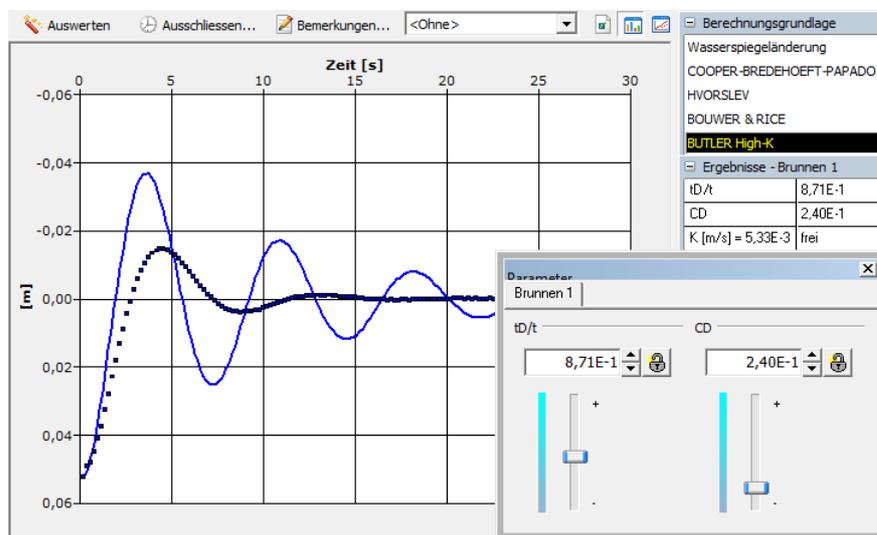


Nun folgt die eigentliche Auswertung. Wählen Sie **Auswertung/Neue Auswertung erstellen** und geben als **Bezeichnung** *Auswertung nach BUTLER* ein. Klicken Sie im Panel **Berechnungsgrundlage** auf **BUTLER High-K** und danach auf **Auswerten** um eine automatische Anpassung vorzunehmen.

Im Panel **Ergebnisse - Brunnen 1** können Sie die vom Programm ermittelten Parameter t_D/t und C_D ablesen (und ggf. ändern), darunter steht der für den freien Aquifer berechnete **K-Wert**. Dort kann die Berechnung auch wahlweise auf **gespannt** umgestellt werden.



Die Auswertung ist damit abgeschlossen. Sie sollten diese Übung aber nutzen um das Verhalten der Parameter auf die Lösung zu erkunden. Klicken Sie auf **Ansicht/Auswertungsparameter**. Bewegen Sie nun die beiden Schieberegler um die Linie von den Punkten zu lösen. C_D ist die Dämpfung, erwartungsgemäß ändert sich die Amplitude, während t_D/t die Schwingungsdauer beeinflusst.



Klicken Sie wieder auf **Auswerten** um die "richtigen" Parameter zu erhalten.

6.17 WD-Test auswerten

Datei: WD-Test

Nur in der Pro-Version.

Starten Sie Hydro Tec und legen eine neue Datei an. Klicken Sie dann im Menü **Versuch** oder im Aufgabenpanel auf **Neuen Lugeon-Test erstellen**, Hydro Tec legt daraufhin den Test an. Stellen Sie die **Maßeinheit** für Länge auf **m**, **Förderrate** auf **l/s**, **Druck** auf **bar** und für die **Durchlässigkeit** auf **m/s** ein.

Die **Durchflussmessung** erfolgte direkt über einen **Durchflussmesser**:



In der Box **Geometrie** wählen Sie **Drucksonde**.

Dies bewirkt das die Eingaben für Druck vom Programm als tatsächlicher wirksamer Druck im Testabschnitt interpretiert werden. Im Gegensatz dazu werden bei der Auswahl von **Manometer ü. GOK** die Eingaben für Druck als Manometerablesungen interpretiert und vom Programm in die Drücke im Testabschnitt umgerechnet.

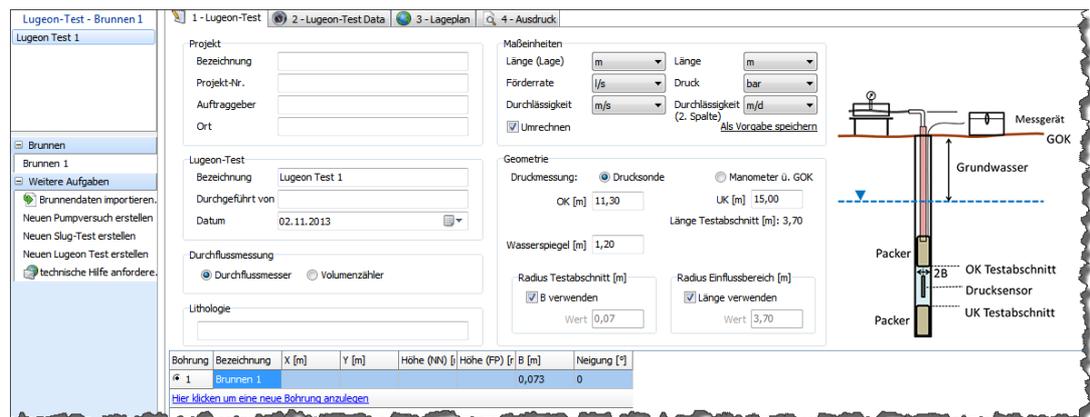
Geben Sie für die **OK** 11,3 m und für **UK** 15 m ein um den Testabschnitt festzulegen.

Tragen Sie für den **Wasserspiegel** 1,2 m ein. Diese Angabe wird bei der Berechnung nicht verwendet, da für die Druckmessung der Typ **Drucksonde** ausgewählt ist.

Belassen Sie die Markierungen unter **Radius Testabschnitt** bei **B verwenden** und unter **Radius Einflussbereich** bei **Länge verwenden**.

Nun der Tabelle wählen Sie **Brunnen 1** als Versuchsbohrung aus in dem Sie in der ersten Spalte die Markierung setzen. Tragen Sie in der Spalte **B** (Radius Bohrung) den Werte 0,073 m ein.

Sie Seite **Lugeon-Test** sollte nun wie folgt aussehen:



Wechseln Sie auf die Seite **2 - Lugeon-Test Messwerte**. Legen Sie die **Anzahl Messungen** auf 1 und die **Anzahl Druckstufen** auf 5 fest. Die Anzahl der Zeilen und Spalten der Eingabetabelle werden daraufhin automatisch angepasst.

Am rechten Fensterrand klicken Sie auf **Dezimalstellen** um das Panel zur Zahlenformatierung aufzuklappen:



Passen Sie ggf. die Einstellungen wie folgt an:

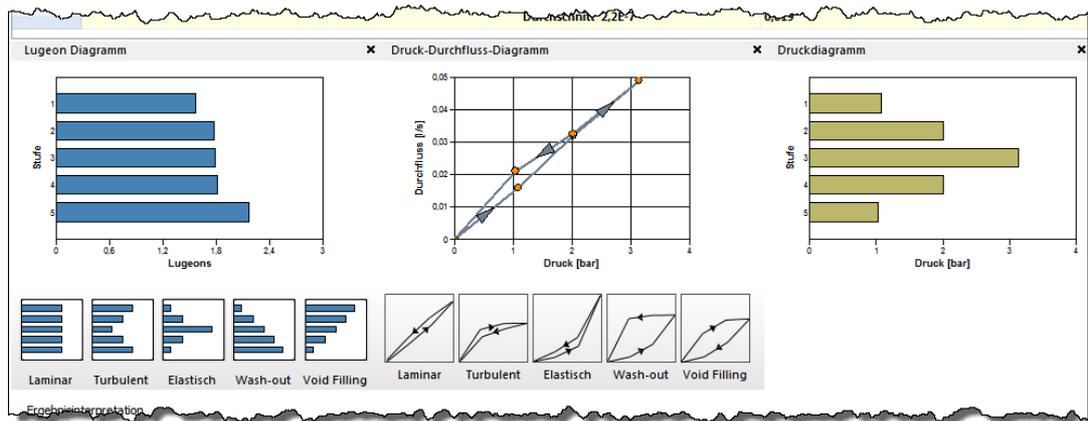


Das Panel wird durch nochmaliges Anklicken von **Dezimalstellen** wieder geschlossen.

Tragen Sie für Druck und Durchflussmessung folgende Werte ein:

Stufe	Druck [bar]	Durchflussmessungen [l/s]	Durchschnittl. Durchfluss [l/s]	Hydraul. Durchlässigkeit [m/s]	Hydraul. Durchlässigkeit [m/d]	Lugeon
		1				
1	1,09	0,0159	0,0159	0,0159	0,0159	0,0159
2	2,03	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320
3	3,15	0,0490	0,0490	0,0490	0,0490	0,0490
4	2,02	0,0325	0,0325	0,0325	0,0325	0,0325
5	1,04	0,0210	0,0210	0,0210	0,0210	0,0210

Bereits während der Eingabe können Sie beobachten wie die Diagramme sich aufbauen. Sind die Messwerte vollständig eingetragen sieht die Darstellung folgendermaßen aus:

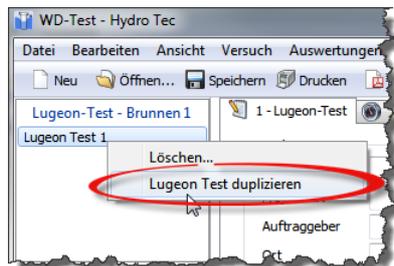


Die Druckstufen 1 bis 4 zeigen einen annähernd laminaren Strömungszustand an. In Stufe 5 deutet sich ein Auswaschen der Klüfte und eine damit einhergehende Vergrößerung der Durchlässigkeit an. Klicken Sie auf eine der beiden Schaltflächen **Wash-Out** unterhalb des Lugeon- oder Druck-Durchfluss-Diagramms. In der Ergebnisinterpretation erscheint nun der interpretierte Effekt, in diesem Fall Wash-out, und die zugehörigen Resultate. Im Falle von Wash-out wird die maximale berechnete Durchlässigkeit vom Programm angegeben.

Das Programm richtet sich bei der Interpretation, d.h. bei Ermittlung des repräsentativen Lugeon- bzw. Durchlässigkeitswertes, nach Hously (1976). Eine Zusammenfassung befindet sich im Kapitel WD-Test Interpretation.

Tipp:

Wurden in einem Bohrloch mehrere WD-Tests durchgeführt können Sie einen bestehenden Test duplizieren. Klicken Sie dazu mit der rechten Maustaste in der Versuchsliste auf den Test und wählen **Lugeon Test duplizieren**.



Beim Duplizieren werden die Angaben für den Versuchsabschnitt (OK und UK) sowie die Messwerte gelöscht, die anderen Einstellungen bleiben erhalten.

6.18 Lageplan mit Kartenmaterial aus dem Internet

Datei: BRAUNFELS

Voraussetzungen für die Nutzung der Funktion **Kartendownload** sind:

1. Die Maßeinheit **Länge (Lage)** ist auf **Meter** eingestellt.



2. Die Koordinaten der Karte sind gültige UTM-Werte.

3. Die **UTM-Zone** ist angegeben und die Hemisphäre korrekt gesetzt.

The screenshot shows the 'Zeige Messstellen von' (Show measurement points from) section with 'Pumping Test 1' selected. Below it, the 'Größe im Ausdruck' (Print size) and 'Koordinatensystem' (Coordinate system) are configured. The 'Koordinatensystem' settings are: Maßstab 1: 10000, Ursprung X [m]: 538115, Ursprung Y [m]: 4816591,5, UTM-Zone: 17, and Nordhalbkugel: . A map on the right shows the location of the wells, with a blue circle highlighting the 'Kartendownload' button.

4. Der Tile-Server ist konfiguriert und der Computer mit dem Internet verbunden.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt startet ein Klick auf **Kartendownload** (4) das Herunterladen der erforderlichen Kacheln. Ist der Vorgang beendet wird das Kartenbild aktualisiert und der **Copyright-Hinweis** mit dem des Tile-Servers versehen.

Die Genauigkeit mit der die Kacheln georeferenziert werden variiert mit dem Breitengrad und ist nie 100% exakt. Zur Darstellung der ungefähren Lage der Brunnen ist dies aber ein nützliches Hilfsmittel.

Übung

Starten Sie Hydro Tec und legen Sie eine neue Datei an. Auf der Seite **Pumpversuch** wählen Sie für **Maßeinheiten Länge (Lage)** m aus.

Legen Sie einen zweiten Brunnen an. Klicken Sie dazu auf **Hier klicken um einen neuen Brunnen zu erstellen**.

Legen Sie die Koordinaten der beiden Brunnen wie folgt fest:

	X [m]	Y [m]
Brunnen 1	456031	5595988
Brunnen 2	455944	5596029

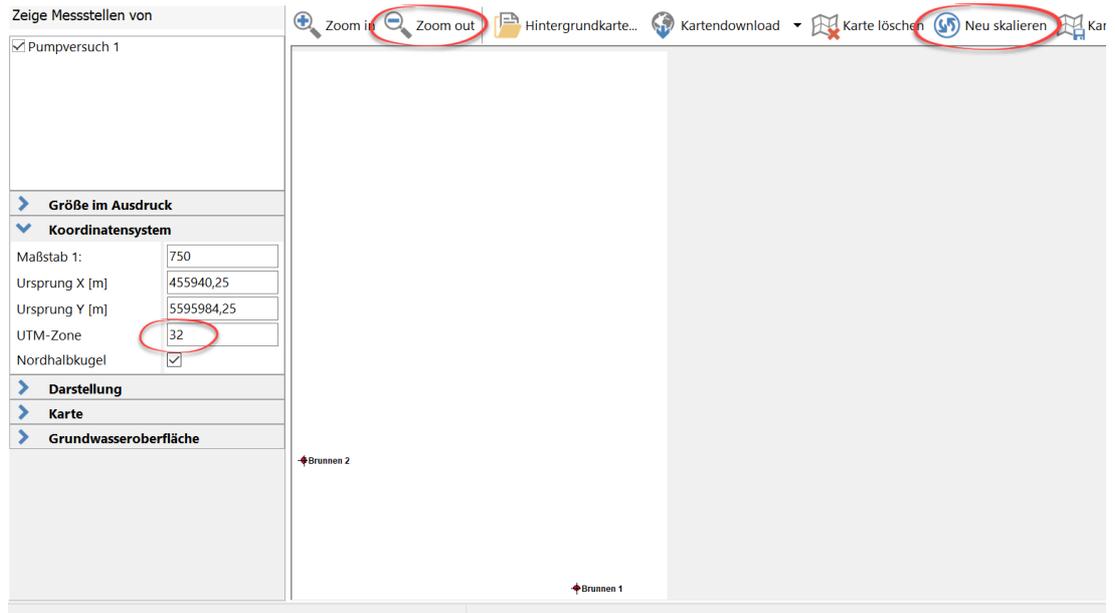
The screenshot shows the 'Pumpversuch' settings. The 'Maßeinheiten' section is set to 'Länge (Lage) m'. The 'Pumpversuch' section is set to 'Pumpversuch 1' with a start date of 11.12.2019. The 'Aquifer' section is set to 'Mächtigkeit [m]' and 'Art unbekannt'. A table at the bottom shows the coordinates for two wells, with the second well's coordinates circled in red.

	Bezeichnung	Brunnenfunktion	X [m]	Y [m]	Höhe (NN) [m]	Höhe (FP) [m]	Ausbau	R [m]	L [m]	b [m]
1	Brunnen 1	Pumpbrunnen	456031	5595988			vollkommen			
2	Brunnen 2	Beobachtungsbrunnen	455944	5596029			vollkommen			

Hier klicken um einen neuen Brunnen zu erstellen

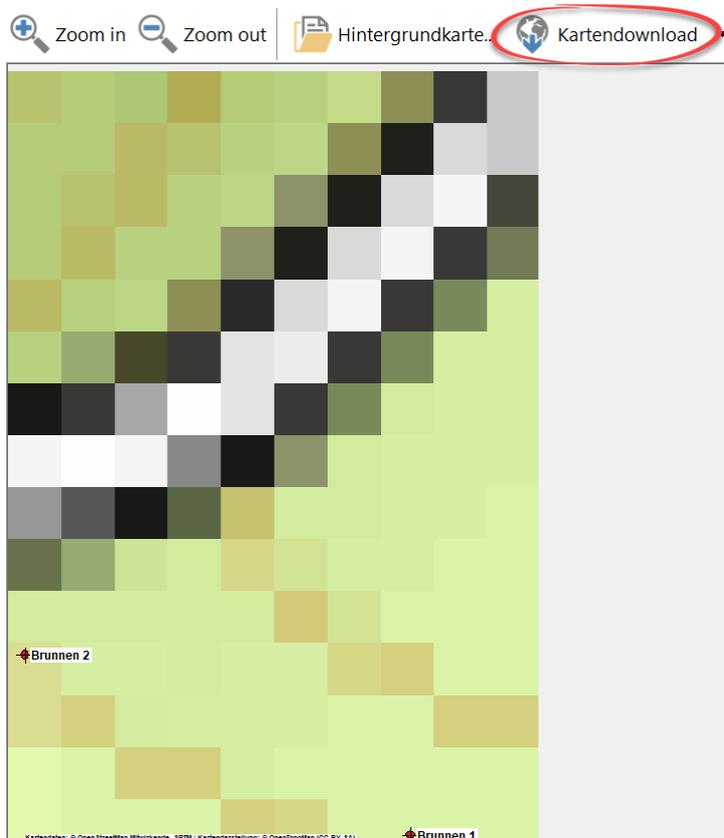
Gehen Sie nun auf die Seite **Lageplan**.

Damit die beiden Brunnen im Kartenbild auftauchen klicken Sie auf **Neu skalieren** und ggf. mehrfach auf **Zoom out**. Dadurch werden Maßstab und Ursprung vom Programm so festgelegt, dass alle Brunnen im Projekt im Lageplan enthalten sind.



Geben Sie im Panel **Koordinatensystem** für die **UTM-Zone** den Wert **32** ein.

Klicken Sie nun auf **Kartendownload**. Das Ergebnis ist vermutlich wenig beeindruckend:



Zum einen liegt dies am geringen Detailgrad der heruntergeladenen Kacheln (Tiles), zum anderen am großen Maßstab. Ändern Sie im Panel **Karte** den Wert **Tile-Server-Zoom** auf **16** und klicken erneut auf **Kartendownload**. Nun ist bereits mehr zu erkennen:

Pumpversuch 1

Größe im Ausdruck

Koordinatensystem

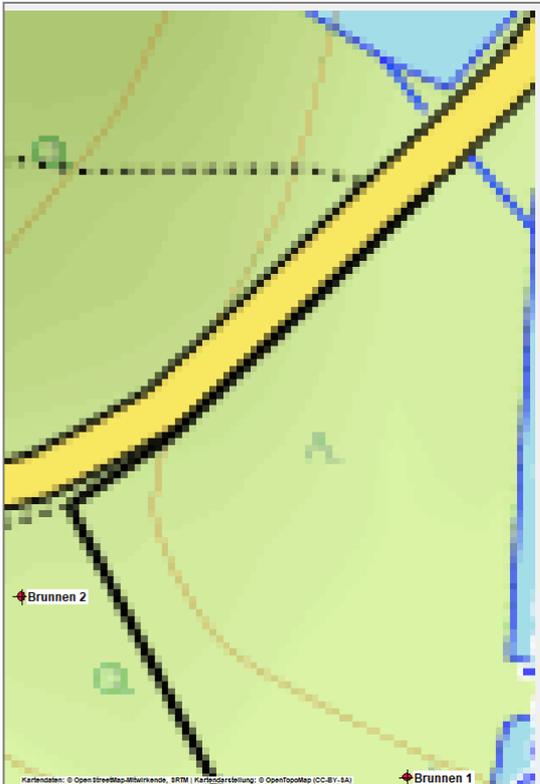
Maßstab 1:	750
Ursprung X [m]	455940,25
Ursprung Y [m]	5595984,25
UTM-Zone	32
Nordhalbkugel	<input checked="" type="checkbox"/>

Darstellung

Karte

Anzeigen	<input checked="" type="checkbox"/>
Georeferenz...	...
Einstellungen Tile-Serv	...
Tile-Server Zoom	16
Copyright-Hinweis	Kartendaten: © O

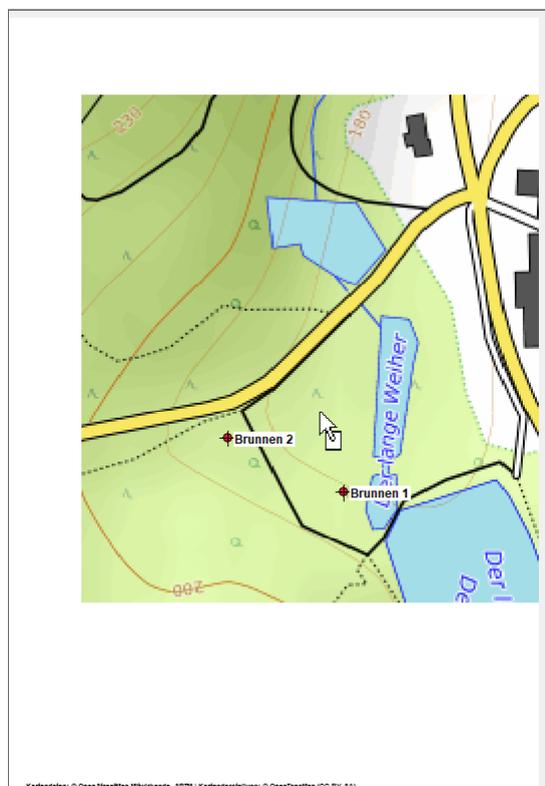
Grundwasseroberfläche



Das Tastenkürzel für mehr Details ist STRG+M, das für weniger Details STRG+L.

Ändern Sie nun im Panel **Koordinatensystem** den **Maßstab** auf 1: **2500**. Daraufhin ist nur noch ein Teil des Lageplans mit Kartenmaterial hinterlegt, ein Großteil bleibt weiß.

Ändern Sie nun den Kartenursprung so, dass die Brunnen ungefähr in der Mitte des Lageplans zum liegen kommen. Dazu gehen Sie mit der Maus in den Lageplan, halten das Mause rad gedrückt, bewegen die Maus nach rechts oben und lassen das Mausrad an geeigneter Stelle los.



Klicken Sie nun erneut auf **Kartendownload** um die fehlenden Tiles nachzuladen.

Um die Auflösung, insbesondere für den Ausdruck, zu erhöhen wählen Sie **Extras/Optionen** aus dem Menü und wechseln zur Seite **Tile-Server**. Im unteren Bereich markieren Sie **Auflösung verbessern**.

Auflösung verbessern ist eine Programmeinstellung und muss nicht bei jedem Projekt neu gesetzt werden.

Klicken Sie nun nochmals auf **Kartendownload** - diese veranlasst das Programm dazu, das Kartenbild neu aufzubauen. In diesem Fall werden die Tiles nicht erneuert heruntergeladen, da sie lokal zwischengespeichert wurden.

Das finale Ergebnis können Sie nun auf der Seite **Ausdruck** kontrollieren. Markieren Sie dort **Lageplan** auf der linken Seite um die Druckvorschau anzuzeigen:

	GEOLOGIK SOFTWARE	Lageplan
		Projekt:
		Projekt-Nr:
		Auftraggeber:
Ort:	Maßstab 1:2500	Ursprung [m] X: 455779,5 Y: 5595755

6.18.1 Koordinaten von Brunnen anhand eines Fotos festlegen

Beim Fotografieren mit einem Smartphone werden die aufgenommenen Bilder - sofern eingestellt - mit Lagekoordinaten (z.B. aus GPS) versehen.

Übung

Starten Sie Hydro Tec und legen Sie eine neue Datei an. Auf der Seite **Pumpversuch** wählen Sie für **Maßeinheiten Länge (Lage)** m aus.

Ziehen Sie nun eine Bilddatei auf die Zeile in der Brunnentabelle der die Koordinaten zugeordnet werden sollen:

Hydro Tec liest die EXIF-Informationen zur Lage aus der Bilddatei, rechnet diese in UTM-Koordinaten um und trägt sie in die Tabelle ein. Die **Höhe (NN)** wird ebenfalls eingetragen.

	Bezeichnung	Brunnenfunktion	X [m]	Y [m]	Höhe (NN) [m]
1	Brunnen 1	Pumpbrunnen	456623	5596413	261
2	Brunnen 2	Beobachtungsbrunn			

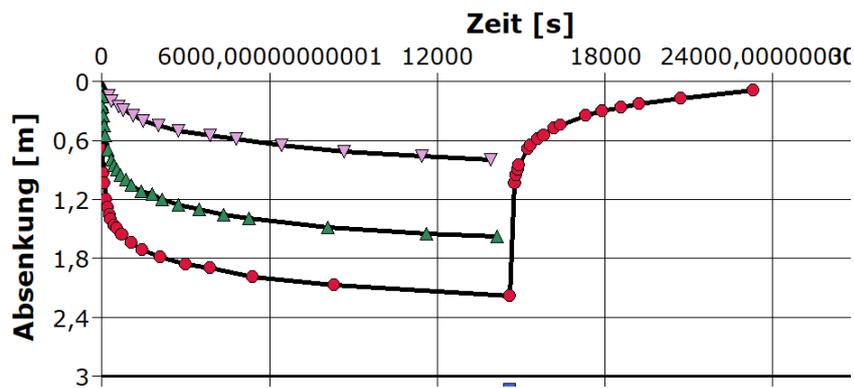
UTM-Zone und Hemisphäre (auf der Seite **Lageplan** im Panel **Koordinatensystem**) werden festgelegt.

6.19 Diagramm und Ausdruck optimieren

In diesem Kapitel werden Einstellungen vorgestellt die den Graphen "gut" aussehen lassen.

Nachkommastellen in der Achsenbeschriftung

Schauen Sie sich folgenden Graphen an:



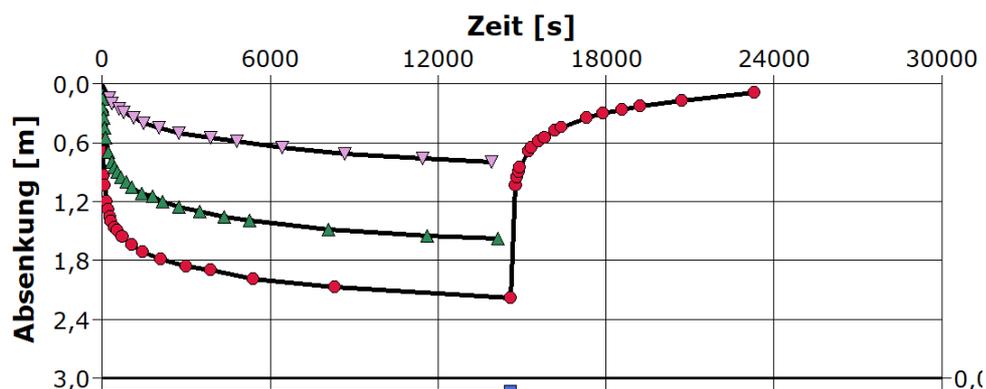
An der Zeitachse tauchen einige Werte mit zu vielen Nachkommastellen auf, auch an der Absenkungsachse variiert die Anzahl der Nachkommastellen. In den Panels der Achsen befindet sich ein Eingabefeld **Zahlenformat** mit dessen Hilfe dies behoben werden kann. In der Abbildung oben ist das Feld Zahlenformat leer.

Syntax des Zahlenformats

Eingabe	Bedeutung
.	Dezimaltrennzeichen, es wird das in Windows eingestellte Dezimaltrennzeichen verwendet, in Deutschland i.d.R. das Komma
,	1000er-Trennzeichen, es wird das in Windows eingestellte 1000er-Trennzeichen verwendet, in Deutschland i.d.R. das Komma
# (Raute-Symbol, Hashtag)	optionale Dezimalstelle
0	feste Dezimalstelle
E+ (auch E-, e+ oder e-)	Exponentialschreibweise

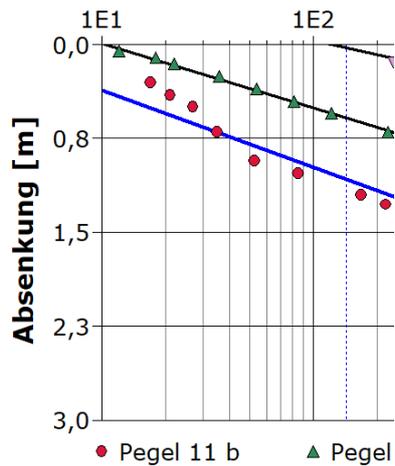
Um die obige Zeitachse ohne Nachkommastellen darzustellen reicht es aus, für das **Zahlenformat** 0 einzutragen. Ein Beispiel für ein gültiges Exponentialformat wäre z.B. 0.0E-0.

Um die Absenkungsachse immer mit einer Nachkommastelle anzuzeigen tragen Sie 0.0 ein.

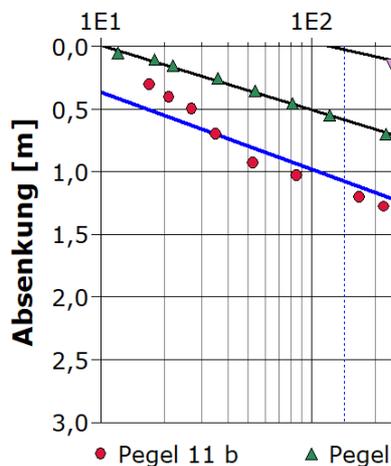


Intervallanzahl der Achsen

Die Intervallanzahl ist die Anzahl der Unterteilungen einer Achse an deren Grenze eine Beschriftung erfolgt. Betrachten Sie z.B. die Absenkungsachse in diesem Graph:



Die Achse ist in 4 Intervalle geteilt, daraus folgen 5 Einträge zur Beschriftung. Zum einen ist die Anzahl der Nachkommastellen (s.o.) hier nicht ausreichend (die Intervalllänge ist 0,75 m, das Zahlenformat ist 0.0), zum anderen wären "geradere" Zahlen besser abzulesen. Um beispielsweise alle 0,5 m eine Beschriftung zu erhalten setzen Sie die Intervallanzahl auf 6:



Schriftgrößen anpassen

Jede Achse (i.d.R. die Zeit- und Absenkungsachse) im Diagramm verfügt über 2 Schriften:

1. für die Beschriftung
2. für die Zahlen

Zeitachse	
Beschriftung	Zeit
1 Schrift	Verdana
Maßstab	Linear
Minimum	0
Maximum	Auto
Zahlen anzeigen	<input checked="" type="checkbox"/>
2 Schrift Zahlen	Verdana
Zahlenformat	0
Intervallanzahl	5

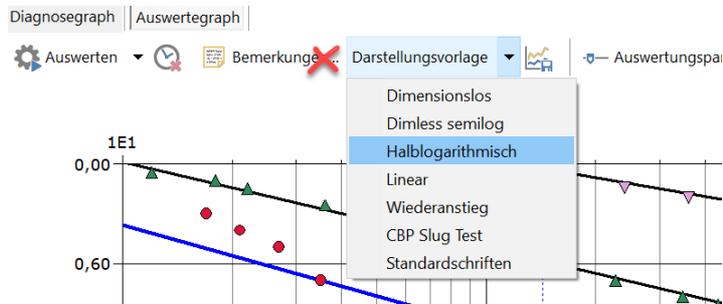
Für die Legende kann die Schrift im Panel **Diagramm** gewählt werden. Somit stehen 5 verschiedene Schriften zur Verfügung um die Darstellung anzupassen.

Darstellungsvorlagen verwenden

Eine Darstellungsvorlage enthält die Einstellungen für das Diagramm, beispielsweise welche Schriften gewählt wurden, ob die Achsen linear oder logarithmisch sind, wie die Achsenskalierung und Beschriftung ist.

Darstellungsvorlage auswählen

Klicken Sie auf die Schaltfläche **Darstellungsvorlage** und wählen die gewünschte Vorlage aus.



Eine Darstellungsvorlage ändert nicht die Berechnung oder die Daten. So sorgt beispielsweise die Auswahl der Vorlage **Dimensionslos** nicht dafür, dass der Graph tatsächlich die Werte in dimensionsloser Darstellung anzeigt. Dies erfolgt erst beim Umschalten auf dimensionslose Darstellung.

Darstellungsvorlage abspeichern

Ist ein Graph so eingerichtet dass Sie ihn als Vorlage speichern möchten klicken Sie auf das Icon **Darstellungsvorlage abspeichern** (rechts neben der Schaltfläche **Darstellungsvorlage**, s.o.) und geben eine Bezeichnung ein.

Darstellungsvorlage löschen

Um eine Vorlage zu löschen wählen Sie **Bearbeiten/Objekt löschen/Darstellungsvorlage**. Es erscheint eine Liste der Vorlagen, wählen Sie dort die gewünschte aus und klicken auf **Löschen**.

Darstellungsvorlagen anpassen

Ein Nachteil beim Abspeichern der Darstellungsvorlagen ist, dass fast alle Einstellungen abgespeichert werden. Möchten Sie beispielsweise eine Vorlage Erstellen, die nur die Schriften ändert, ohne in die Einstellungen für Achsenskalierung, Minimum/Maximum etc. einzugreifen, ist etwas "Handarbeit" notwendig. Gehen Sie wie folgt vor:

1. Speichern Sie die Darstellungsvorlage wie oben beschrieben ab.
2. Öffnen Sie die Datei **AnalysisAppearance.ini** aus dem Einstellungsverzeichnis in einem Editor (z.B. Notepad). Das Einstellungsverzeichnis ist normalerweise C:\ProgramData\GeoLogik\Hydro Tec.
3. Suchen Sie die Sektion der Darstellung. Diese besteht aus dem Namen der Vorlage in eckigen Klammern.

4. Löschen Sie in den darauf folgenden Zeilen alle diejenigen Zeilen, die nicht geändert werden sollen. Die Einträge sind auf Englisch und weitgehend selbsterklärend. Wenn Sie z.B. nicht möchten, dass die Vorlage eine Änderung daran vornimmt, ob die Absenkungsachse linear oder logarithmisch dargestellt wird, löschen Sie die Zeile, die mit "LeftAxisLog=" beginnt. Belassen Sie nur die Einträge in der Sektion, die geändert werden sollen.

```

382 TopAxisMin=0,001
383 TopAxisMaxAuto=0
384 TopAxisMax=1000
385 TopAxisLabelFormat=0E-0
386 [Standardschriften]
387 LegendFontName=Verdana
388 LegendFontSize=8
389 LegendFontBold=0
390 LegendFontItalic=0
391 LegendFontUnderLine=0
392 LegendFontStrikeOut=0
393 LegendFontColor=0
394 LeftAxisCaptionName=Verdana
395 LeftAxisCaptionSize=10
396 LeftAxisCaptionBold=1
397 LeftAxisCaptionItalic=0

```

Die Datei **AnalysisAppearance.ini** im Editor. Die Sektion der Darstellungsvorlage "Standardschriften" beginnt hier in Zeile 386.

5. Speichern Sie die Datei **AnalysisAppearance.ini** ab und starten Hydro Tec neu.

6.20 Typische Probleme

Es werden keine Messwerte angezeigt

Überprüfen Sie auf der Seite **Wasserspiegelmessungen**, ob die Absenkungsbeträge positiv sind.

Bei der Auswertung werden vollkommen unrealistische Transmissivitäten ermittelt

Überprüfen Sie, ob die Maßeinheit für die Förderrate korrekt ist. Die Maßeinheiten können Sie auf der Seite **Pumpversuch** einstellen, den Wert selbst finden Sie auf der Seite **Förderrate**.

Die automatische Anpassung ist nicht erfolgreich

Dies kann vielschichtige Ursachen haben, die drei mit Abstand häufigsten sind:

1. Die Modellannahmen (die gewählte Methode) passen nicht zu den Daten. Überprüfen Sie z.B. im Diagnosegraph ob die Wasserspiegelmessungen tatsächlich das gewählte Auswertmodell repräsentieren und wählen ggf. ein anderes.
2. Die Startparameter (T, S, usw.) liegen zu weit von den gesuchten Werten entfernt. Versuchen Sie erst eine manuelle Anpassung vorzunehmen und oder sperren Sie einige Parameter bevor Sie die automatische Anpassung verwenden. Ein Beispiel finden Sie in der Übung Klufftaquifer.
3. Die Daten stammen aus dem Pumpbrunnen selbst. In diesem Fall korrelieren Speicherkoeffizient und Brunneneffekte (Skin, Brunnenspeicherung). In vielen Fällen hilft es, für den Radius Filter den Wert 1 (**R** für den Brunnen auf der Seite **Pumpversuch**) einzutragen um wieder im Definitionsbereich von S zu gelangen. Details finden Sie unter Auswertungen im Pumpbrunnen.

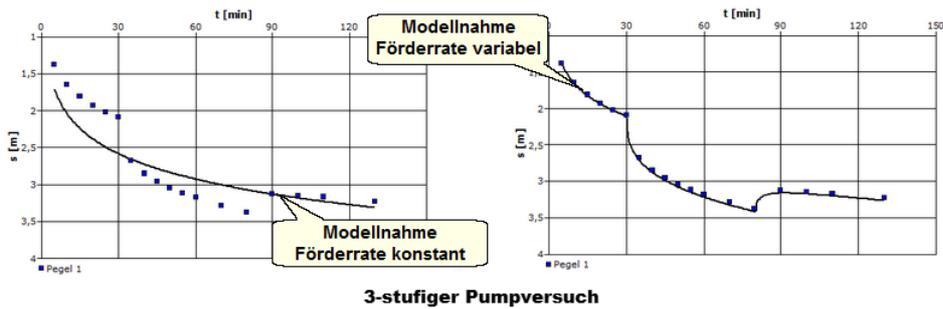
Wenn unter **Extras/Optionen** auf der Seite **Konstanten** die Option **Hinweisfenster bei erfolgloser Anpassung** gewählt ist erscheint folgendes Fenster:



Dort können einige der o.g. Ursachen direkt beseitigt werden.

Beim mehrstufigen Pumpversuch spiegelt die berechnete Absenkung nicht die Förderratenänderungen wieder

Wählen Sie im Panel **Modellannahmen** unter **Förderrate** den Wert **variabel** aus.



Teil



7 Literatur

- Agarwal, R.G., Al-Hussainy, R., Ramey, H.J.J. (1970): An investigation of wellbore storage and skin effect in unsteady liquid flow.- SPE Journal, pp 279-290.
- Agarwal, R.G. (1980): A new method to account for producing time effects when drawdown type curves are used to analyse pressure buildup and other test data.- Proceedings of the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers. Paper SPE 9289
- Binkhorst, Gordon K.; Robbins, Gary A. (1998): Conducting and Interpreting Slug Tests in Monitoring Wells with Partially Submerged Screens.- Ground Water 36 (2), S. 225–229. DOI: 10.1111/j.1745-6584.1998.tb01087.x.
- Bourdet, D., Ayoub, J.A., Pirard, Y.M. (1984): Use of Pressure Derivative in Well Test Interpretation.- SPE 12777
- Bouwer, H. & Rice, R.C. (1976): A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells.- Water Resources Res. Vol. 12, pp. 423-429.
- Butler, J.J.; Garnett, E.J.; Healey, J.M. (2003): Analysis of Slug Tests in Formations of High Hydraulic Conductivity.- Ground Water, Vol. 41, No. 5, pp. 620-630.
- Clonts, M.D. & Ramey, H.J. Jr. (1986): Pressure Transient Analysis for Wells with Horizontal Drainholes.- SPE 15116, presented at the 1986 SPE California Regional Meeting, Oakland, April 2.-4.
- Dagan, G. (1978): A note on packer, slug, and recovery tests in unconfined aquifers.- Water Resour. Res. 14 (5), S. 929–934. DOI: 10.1029/WR014i005p00929.
- DIN EN ISO 22282-3:2012-09: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 3: Wasserdruckversuche in Fels
- Fetter, C.W. (2001): Applied Hydrogeology.- 4th Edition, 598 S., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hantush, M.S. (1956): Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers.- Trans. Maer. Geophys. Union, Vol. 37, 702-714.
- Hantush, M.S. (1960): Modification of the theory of leaky aquifers.- J. Geophys. Res., Vol. 65, 3713-3725.
- Hemker, C. J.; Maas, C. (1987): Unsteady flow to wells in layered and fissured aquifer systems.- Journal of Hydrology 90 (3-4), S. 231–249. DOI: 10.1016/0022-1694(87)90069-2.
- Houlsby, A. (1976). Routine Interpretation of the Lugeon Water-Test. Q. J. Eng. Geol.Vol. 9, pp. 303-313.
- Hvorslev, M.J. (1951): Time Lag and Soil Permeability in Ground Water Observations.- 50 S., U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experimentation Station, Bulletin 36, Vicksburg, Mississippi.
- Kawecki, M.W. (2000): Transient Flow to a Horizontal Well.- Ground Water, Vol. 38, No. 6, pp. 842-850.
- Kruseman, G.P. & Ridder, N.A. de (1991): Analysis and Evaluation of Pumping Test Data.- 2nd Edition, 377 S., ILRI Publication 47, Wageningen.
- Langguth, H.-R. & Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden.- 2. Aufl., XIV+1005 S., Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- Langseth, D.E.; Smyth, A.H.; May, J. (2004): A Method for Evaluating Horizontal Well Pumping Tests.- Ground Water, Vol. 42, No. 5, pp. 689-699.
- Mattheß, G. & Ubell, K. (2003): Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt, Lehrbuch d. Hydrogeologie Bd. 1, Gebrüder Bornträger, Berlin-Stuttgart.
- Moench, A.F. (1984): Double-Porosity Models for a Fissured Groundwater Reservoir with Fracture Skin.- Water Resources Research, Vol. 20, No. 7, 831-846.

- Moench, A.F., 1996: Flow to a Well in a Water-Table Aquifer: An Improved Laplace Transform Solution.- *Ground Water*, Vol. 34. No. 4, pp. 593-596.
- MWH (2003): Confining Layer Characteristics Cooperative Study - Aquifer Test Analysis. Technical Memorandum. Hg. v. Inyo County Water Department. Online verfügbar unter <http://www.inyowater.org/wp/wp-content/themes/rtheme16child/documents/ConfiningLayercoopstudyfinalreport.pdf>, zuletzt geprüft am 29.07.2015.
- Neuman, Shlomo P.; Witherspoon, Paul A. (1969a): Theory of Flow in a Confined Two Aquifer System.- *Water Resour. Res.* 5 (4), S. 803–816. DOI: 10.1029/WR005i004p00803.
- Neuman, Shlomo P.; Witherspoon, Paul A. (1969b): Applicability of Current Theories of Flow in Leaky Aquifers.- *Water Resour. Res.* 5 (4), S. 817–829. DOI: 10.1029/WR005i004p00817.
- Papadopoulos, I.S.; Cooper, H.H. Jr. (1967): Drawdown in a well of large diameter.- *Water Resources Res.*, Vol. 3, pp. 241-244.
- Preiß, S. (1996): Pumpversuchsauswertung bei Einzelbrunnen unter Berücksichtigung der 1. Ableitung des Druckverlaufs.- Diplomarbeit Universität Gießen.
- Quiñones-Rozo, Camilo (2010): Lugeon test interpretation, revisited. In: Collaborative Management of Integrated Watersheds, US Society of Dams, 30th Annual Conference, S. 405–414.
- Reed, J. C. (1980): Techniques of Water-Resource Investigations of the United States Geological Survey, Chapter B3, Type curves for selected problems of flow to wells in confined aquifers.- USGS, Book 3 Application of Hydraulics, Arlington, VA.
- Renard, P.; Glenz, D.; Mejias, M. (2009): Understanding diagnostic plots for well-test interpretation.- *Hydrogeology Journal*, Vol. 17, No 3, pp. 589-600.
- Renard, P. (2001): Quantitative analysis of groundwater field experiments.- 222 S., ETH Zürich, unveröffentlicht.
- Sachs, L. (1974): *Angewandte Statistik. Planung und Auswertung. Methoden und Modelle.*- XX+545 S., Springer, Berlin.
- Spaine, F.A. & Wurstner, S.K. (1993): DERIV: A Computer Program for Calculating Pressure Derivatives for Use in Hydraulic Test Analysis.- *Ground Water*, Vol. 31, No. 5, 814-822.
- Theis, C.V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.- *Trans. Amer. Geophys. Union*, Vol. 16, pp. 519-524.
- Warren, J.E. & Root, P.J. (1963): The behaviour of naturally fractured reservoirs.- *Soc. of Petrol. Engrs. J.*, Vol. 3, 245-255.
- Weeks, E.P. (1969): Determining the ratio of horizontal to vertical permeability by aquifer-test analysis.- *Water Resources Res.*, Vol. 5, 196-214.

Index

- A -

Ableitung 53, 54, 143
 Abstands-Absenkungs-Verfahren 82
 Abstands-Zeit-Absenkungs-Verfahren 82
 Agarwal 70
 Anisotropie 68
 Aquiferausdehnung 57
 Aquiferparameter 57
 Aquifertyp 57
 Aquitarde 57
 Arbeitsverzeichnis 24
 Auswertgraph 56
 Autospeichern 24

- B -

Backup-Dateien 24
 Bail-Test 83, 87
 barometrische Koeffizient BE 47
 Beschriftungsfeld 23
 Binkhorst & Robbins 87
 Blockgeometrie 75
 Boulton 60, 71
 Bourdet 54
 Bouwer & Rice 85
 Brunnenausbau 57
 Brunnendaten 34
 Brunneneffizienz 80
 Brunnenspeicherkoeffizient 76
 Brunnenspeicherkoeffizient (dimensionslos) 59, 63
 Brunnenspeicherung 76
 Brunnenverluste 79, 137, 138
 Brunnenwirkungsgrad 142
 Butler 86, 148

- C -

Cooper & Jacob 82, 97
 Cooper & Jacob Gültigkeitskriterium 26
 Cooper, Bredehoeft & Papadopulos 83

- D -

Dagan 85
 Darstellungsvorlage 157

Dateisicherheit 24
 Datenkorrektur löschen 50
 Datenkorrekturen 50
 Diagnosegraph 53
 Dimensionslose Darstellung 58
 Doppelporositätsmodell 74, 128
 Dropzone 41

- E -

Excel 40

- F -

Farbverlaufskarten 109
 Felder 29
 Festpunkthöhe 36
 Filter 45
 Filterfunktion 45
 Filterstrecke 34
 Firmenkopf 23
 Firmenlogo 23, 161
 Förderrate 37, 57
 Förderrate-Wasserspiegel 37

- G -

Ganglinie 93
 Geradlinienverfahren 82
 Gespannter Aquifer 97
 Gitter exportieren 109
 Grundeinstellungen 23
 Grundwasseroberfläche 115

- H -

Hantush 59
 Hantush-Bierschenk 79, 138
 Höhenbezugssysteme 36
 Horizontalbrunnen 34, 61
 Hvorslev 84
 Hydraulische Höhe 115
 hydraulischer Widerstand 79

- I -

Import 37, 40, 41
 Import-Einstellungen 41
 Installation 7
 Instationärer Zustand Förderrate-Wasserspiegel
 extrapolieren 138

Isolinien 30
Isolinien der Absenkung 109
Isolinienpläne 109
Isotropie 57
Iterationen 26

- J -

Jacob-Korrektur 60
Jacob-Korrekturformel 71

- K -

Karte 31
Kartendownload 152
Kluftaquifer 74, 128
Koordinatensystem 36
Korrekturformel 50

- L -

leaky Aquifer 71, 105
Logger 41
Logo 23
L-Spacing 54, 143
Luftdruckkorrektur 47
Lugeon 90
Lugeon-Test 90

- M -

Maßeinheiten 24, 34
Mehrfachpumpbrunnen 109
Messwerte löschen 39
Messwerte reduzieren 45
Messwertsymbole 28
Modellannahmen 57
Moench 75, 133
Multi-Aquifersystem 122
Multilayer 122

- N -

Neuman 60, 71, 117
NN-Höhe 36

- P -

Papadopulos 59
Papadopulos & Cooper 76
Parameter 57

Parameter-Faktor 26
PDF 23
Prognose 144
Pumpversuch planen 144

- R -

Randliche Begrenzung 66
Regionale Strömung 115
Registrieren 7
ROK 36

- S -

Seitenränder 23
Signifikanztest 46
Skin-Effekt 75, 77, 133
Slug-Test 83, 84, 85, 86, 146, 148
Spang & Wurstner 54
spezifischen Ergiebigkeit 135
Sprache 23
Stationärer Zustand 137
Statistik 16
Stromlinien 115
Stufenpumpversuch 79
Superpositionsprinzip 66
Surfer 8, 30
Systemvoraussetzungen 7
Szenario 144

- T -

Theis 59, 66, 83, 97
Tile-Server 31
Trend 46
Trendbereinigung 46
Typkurven hinzufügen 63

- U -

Ungespannter Aquifer 71
unvollkommene Brunnen 68, 107

- V -

Variable Förderrate 66
Vertikale Anisotropie 68
Vollversion 7
Vorhersage 144

- W -

Warren & Root 60, 74
Wasserspiegelmessungen 39
WD-Test 90
Weeks 68
Wertebereiche 13
Wiederanstieg 70, 83
Wirksamer Brunnenradius 34
wirksamer Radius 87
Wirkungsgrad 80, 142

- Z -

Zahlenformat 157
Zeit-Absenkungs-Verfahren 82
Zeit-Förderrate 37
Zeitlicher Versatz 39
Zwischenablage 39