



Verschleißungsarbeiten artesischer Brunnen und ihre Auswirkungen auf den Aquifer am Beispiel Grafendorf bei Hartberg

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Master of Science in Erdwissenschaften

vorgelegt von

Nudžejma Mehmedovski BSc

Betreuer:

Ass.-Prof. Mag. Dr.rer.nat. Gerfried Winkler

Technische Universität Graz und Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Angewandte Geowissenschaften und Institut für Erdwissenschaften

Graz, 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

DANKSAGUNG

Für die Fertigstellung dieser Masterarbeit möchte ich mich bei einigen Menschen bedanken.

Meine größte Dankbarkeit bzgl. der Ausarbeitung dieser Masterarbeit gilt meinem Betreuer Ass.-Prof. Mag. Dr.rer.nat. Gerfried Winkler. Ich bin sehr dankbar dafür, dass ich einen Betreuer hatte, der so viel Zeit in Anspruch nimmt, um gemeinsam Probleme zu lösen und stets darum bemüht ist seine StudentInnen zu unterstützen.

Herrn Mag. Dr. Michael Ferstl und dem Land Steiermark gilt ein besonderer Dank für die Zurverfügungstellung der Daten und die Zusammenarbeit während der Ausarbeitung dieser Masterarbeit.

Bei den Mitarbeitern der Firma Geologie&Grundwasser GmbH möchte ich mich auch sehr bedanken, da sie immer verständnisvoll und zuvorkommend waren.

Bei meinen Eltern Džemila und Adem Mehmedovski bedanke ich mich auf diesem Weg für ihre wunderbare Unterstützung und ihr Verständnis während meiner gesamten Schul- und Studienzeit. Auch ein großes Dankeschön dafür, dass sie mir immer die Freiheit ließen alleine über meine schulische und universitäre Ausbildung zu entscheiden und mir keinen Druck gemacht haben. Meinen Brüdern Emel und Amil Mehmedovski danke ich auch für ihre Unterstützung und ihren Rückhalt. Ein außerordentliches Dankeschön gehört dabei auch meiner besten Freundin Danijela Gajić.

Für die Erleichterung bzgl. des Umgangs mit dem Programm „Matlab“ und manchen mathematischen Erklärungen gilt ein großer Dank meinem Freund Peter Zach. Zusätzlich bedanke ich mich auch dafür, dass er mir stets zur Seite gestanden ist und mir bei Selbstzweifel gut zugeredet hat.

Bei meinen StudienkollegInnen und mittlerweile guten FreundInnen möchte ich mich ebenfalls bedanken. Sie haben dabei geholfen, das Studium noch schöner und aufregender zu gestalten. Ein außerordentliches Dankeschön gilt dabei Marlene Sakoparnig, Sandra Petersmann, Julia Woitischek, Felix Thalheim und Cyril Mayaud.

Inhalt

1. Kurzfassung.....	6
2. Abstract.....	8
3. Einleitung.....	10
4. Geologie des Steirischen Beckens.....	11
Ablagerungen des Neogens.....	13
Karpat.....	13
Baden.....	14
Sarmat.....	14
Unterpannon.....	14
Mittelpannon.....	15
Pont.....	16
Pliozän.....	16
Quartär.....	16
Geologie von Grafendorf.....	16
Hydrogeologie und Datenlage von Grafendorf bei Hartberg.....	17
5. Methodik.....	29
Auswertung von Pumpversuchsdaten.....	29
Allgemeines zu Pumpversuchen und deren Auswertung.....	29
Randbedingungen.....	32
Auswertemethoden für Pumpversuche.....	35
Verfahren nach Theis.....	35
Geradlinienverfahren bzw. Zeit-Absenkungsverfahren nach Cooper und Jacob (1946).....	37
Auswertung des Wiederanstiegs/“residual drawdown“.....	38
Papadopulos&Cooper (1967).....	40
Murdoch (1994).....	41
Barker (1988).....	41
Dougherty&Babu (1984).....	42
Verwendete Methodik zur Korrelationsanalyse.....	43
6. Ergebnisse.....	45
Auswertung der Pumpversuche.....	45
Auswertung des Pumpversuchs Grosshart.....	46
Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I von 1983.....	48
Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I von 1985.....	53
Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II von 1983.....	57
Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II von 1985.....	62

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III bzw. West von 1985	67
Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III bzw. West von 1986	71
Auswertung des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Gnies III	76
Auswertung des Pumpversuchs Markt Hartmannsdorf	78
Auswertung des Pumpversuchs Unterrohr	86
Auswertung des Pumpversuchs Urscha II	90
Auswertung des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf	96
Vergleich der Auswertemethoden	106
Auswertung der Druckspiegelmessungen	108
Analyse des Niederschlags und der Grundwasserspiegel	108
Visueller Ganglinienvergleich der Grundwasserspiegel der einzelnen Brunnen	112
Trendvergleich aller Grundwasserspiegel miteinander	115
Korrelationsanalyse	117
Autokorrelation der Brunnen	117
Kreuzkorrelation der Brunnen	119
7. Diskussion	123
8. Literaturverzeichnis	125
9. Tabellenverzeichnis	128
10. Abbildungsverzeichnis	131
Abbildungsverzeichnis Anhang	138
11. Anhang	139

1. KURZFASSUNG

Im Steirischen Becken sind wichtige Tiefengrundwässer vorhanden. Diese Tiefengrundwässer sind für eine nachhaltige Nutzung essentiell, da sie von äußeren Umwelteinflüssen weitgehend unberührt bleiben. In Grafendorf bei Hartberg erschließen oder erschlossen mehrere Hausbrunnen dieses essentielle Tiefengrundwasser. Einige dieser Brunnen, genau genommen 59 artesische Brunnen, wurden nicht verwendet oder entsprachen nicht dem Stand der Technik. In weiterer Folge vermischten sich die älteren, tieferen Aquifere mit den jüngeren, oberflächennahen Aquiferen. Dies zeigte sich in einer veränderten Isotopenzusammensetzung. Überdies veränderte sich die Grundwassertemperatur mit zunehmender Tiefe nicht mehr. Es wurde deutlich, dass das Grundwasser durch die Vermischung immer jünger wurde. Des Weiteren hatten viele der Brunnen einen freien Überlauf, wodurch seit 1950 die durchschnittliche Schüttung von 0,334 l/s pro Brunnen auf 0,090 l/s pro Brunnen bis 2013 sank. Das entspricht einem Schüttungsrückgang von 75 %. Um einen weiteren Schüttungsrückgang zu verhindern und das Tiefengrundwasser nachhaltig zu schützen, wurden Verschließungsarbeiten an 59 artesischen Brunnen in Grafendorf bei Hartberg durchgeführt, indem eine Zement-Bentonit-Suspension (Verhältnis 1:3) injiziert wurde.

Grafendorf befindet sich im Steirischen Becken am südöstlichen Rand der Alpen. Dort ist sowohl oberflächennahe Grundwasser als auch Tiefengrundwasser vorhanden. Das oberflächennahe Grundwasser ist ungespannt und wird in 2 Horizonte unterteilt, welche bis zu 13,00 m tief sind. Das Tiefengrundwasser besteht aus 5 artesischen Horizonten, welche zwischen 42,00 und 176,00 m liegen. Die Horizonte bestehen hauptsächlich aus Sand, z.T. Fein-/Mittel-/Grobkies mit tlw. geringen Tonanteilen. Um die Reaktion des Aquifersystems auf die Verschließungsarbeiten untersuchen zu können, wurden Daten von 5 Brunnen vom Land Steiermark zur Verfügung gestellt; davon sind 3 der Brunnen (Brunnen 5960, 5964, 5966) oberflächennahe Brunnen und 2 weitere Tiefenbrunnen (Brunnen 59680 und Arteser Grafendorf III), wobei es sich bei einem der Tiefenbrunnen um einen artesischen Brunnen handelt. Um die hydraulische Verbundenheit der Brunnen zu analysieren, wurde nicht nur ein visueller Ganglinienvergleich unternommen, sondern auch eine Kreuzkorrelation mithilfe von Matlab durchgeführt. Es sind ebenfalls Pumpversuche von Bohrungen in der Umgebung von Grafendorf mittels AQTESOLV ausgewertet worden, um eine Ähnlichkeit bzw. Unterschiede festzustellen. Zusätzlich wurden verschiedene Auswertemethoden (Cooper&Jacob, Theis, Papadopulos&Cooper, Barker, Dougherty&Babu, Murdoch) angewandt und miteinander verglichen. Mit diesem Vergleich soll die beste Auswertemethode gefunden und ggf. Unterschiede in der Anwendbarkeit der Analyse bestimmter Fallbeispiele erkannt werden. Weiterhin war es auch interessant zu beobachten, wie stark sich die Ergebnisse je nach Auswertemethode änderten.

Die Transmissivität, welche durch die Pumpversuchsauswertungen berechnet wird, nimmt nach Süden hin ab. Ob dies nun allgemein aussagekräftig ist, kann nicht beurteilt werden, da es sich bei den Pumpversuchen tlw. um unterschiedliche Aquifere handelt. Die durchschnittliche Transmissivität der Bohrungen, welche sich in näherer Umgebung von Grafendorf bei Hartberg (11 bis 19 Km) befinden, liegt bei $9,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Transmissivität der Bohrungen, welche in weiterer Entfernung liegen (28 bis 35 km), beträgt $7,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Der Speicherkoeffizient ist in allen Bohrungen, unabhängig von der Lage, in etwa gleichgroß und liegt durchschnittlich bei $5,88 \cdot 10^{-2}$. Interessanterweise gibt es bei der Berechnung der Transmissivität je nach

Auswertemethode weniger Abweichungen als bei den Ergebnissen für den Speicherkoeffizienten. Auch die durchschnittliche Anwendbarkeit der Auswertemethoden wird verglichen. Bei den Ergebnissen für die Absenkung schneiden die Auswertemethoden Papadopulos&Cooper und Barker mit etwa 85 % am besten ab. Bei den Ergebnissen für den Wiederanstieg schneidet die Auswertemethode Barker mit 95 % mit Abstand am besten ab. Wird nach den Anpassungen an die Absenkungs- und Wiederanstiegskurve beurteilt, ist die Auswertemethode Murdoch mit 78 % bei der Absenkung am besten anwendbar und im Wiederanstieg die Auswertemethode Theis mit ebenfalls ca. 78 %.

Vor den Verpressarbeiten wiesen alle 5 Beobachtungsbrunnen ähnliche Trends auf. In einigen Perioden konnte eine verzögerte Reaktion des Grundwassers der Brunnen in der Reihenfolge von Nord nach Süd beobachtet werden. Während den Verpressarbeiten (April 2013 bis August 2013) haben alle Brunnen eine Verringerung des hydraulischen Potentials erfahren. Nach den Verpressarbeiten hat der Arteser Grafendorf III einen Anstieg von 1,00 m, während im Brunnen 5960 eine Absenkung von 1,45 m beobachtet wird. Das Grundwasser der Brunnen 5964 und 5966 ist um 0,50 m gestiegen und der Tiefenbrunnen hat mit nur 0,05 m einen minimalen Anstieg. Die Kreuzkorrelationen bestätigen die Ergebnisse des visuellen Ganglinienvergleichs. Vor den Verpressarbeiten korrelieren alle Brunnen sehr gut bis gut miteinander und liegen zwischen $r(k)=0,62$ und $0,75$. Der Brunnen 5960 weist in der Korrelation mit den Brunnen 5966 und 59680 einen verzögerten Peak auf, was auf die verzögerte Reaktion der Brunnen von Nord nach Süd hindeuten kann. Der Arteser Grafendorf III korreliert gut bis schlecht mit den restlichen Brunnen ($r(k)=0,65$ bis $r(k)=0,57$). Nach den Verpressarbeiten korreliert der Brunnen 5960 schlecht mit den restlichen Brunnen, was nicht weiter verwunderlich ist, da der Grundwasserspiegel bei diesem Brunnen als einziger stetig fällt. Interessant ist, dass bei der Korrelation nach den Verpressarbeiten die Brunnen 5964 und 59680 sowie 5964 und 5966 einen verzögerten Peak aufweisen, was ebenfalls für die verzögerte Reaktion der Brunnen von Nord nach Süd sprechen könnte. Der Arteser Grafendorf III korreliert überhaupt nicht mehr mit den restlichen Brunnen.

Zusammenfassend kann darauf geschlossen werden, dass das Verpressen der 59 artesischen Brunnen die Verbindung der oberflächennahen und tiefen Aquifere eingedämmt hat. Überdies zeigen nur die Brunnen in direkter Umgebung eine nachwirkende Reaktion auf die Verpressarbeiten. Der Brunnen 5960 hat einen stetig fallenden Grundwasserspiegel. Dadurch, dass die Aquifere nicht mehr verbunden sind, steigt das Wasser aus den tiefen Horizonten nicht mehr auf, sodass der Brunnen 5960 weniger Wasser erhält. Der Arteser Grafendorf III hat hingegen einen ansteigenden Wasserdruck. Dieser ist damit zu begründen, dass der Großteil der verpressten Brunnen bis in den 3. Horizont reichte und der Arteser Grafendorf III ebenfalls den 3. Horizont erfasst. Die verzögerte Reaktion der Brunnen von Nord nach Süd kann durch einen gemeinsamen Grundwasserneubildungsbereich erklärt werden. Aufgrund der Entfernung der restlichen Brunnen zu Grafendorf ist anzunehmen, dass die restlichen Brunnen auch andere Neubildungskomponenten haben und sich aus diesem Grund nach den Verpressarbeiten vergleichsweise schnell regenerieren konnten. Die Reaktion des Aquifers war bis jetzt positiv. Allerdings sind zukünftig weitere Untersuchungen notwendig, um eine langzeitliche, positive Reaktion des Aquifers bestätigen zu können und speziell um die Reaktion der einzelnen Horizonte und deren Interaktion untereinander zu untersuchen.

2. ABSTRACT

The Styrian Basin is a well-known source of deep groundwater. Compared to shallow groundwater, deeper groundwater is especially important due to its characteristic tendency to remain extensively unaffected by environmental impacts. Thus, the uncontrolled waste of this valuable resource has to be avoided. 59 artesian wells in Grafendorf bei Hartberg (Styria, Austria) have not been used and/or the wells were not state-of-the-art. As a result, the older groundwater from deeper aquifers began to interact with the younger groundwater from shallow aquifers, which led to a changing isotopic composition whilst there was no temperature difference along the depth profile. Additionally, since 1950, when the mean discharge of 37 was 0,334 l/s per well, the discharge has decreased to 0,090 l/s until 2013, which means a decline of about 75 %. As a reaction to these declines and aquifer interactions a decommissioning campaign was conducted where 59 artesian wells have been closed by injecting a cement-bentonite suspension (ratio 3:1).

The Grafendorf aquifer is situated in the Styrian Basin at the south-eastern rim of the Alps. Both shallow groundwater and deep groundwater can be found in Grafendorf. The shallow groundwater is unconfined and up to 13 m deep. The deep groundwater consists of 5 separated artesian horizons in Neogene sediments. These artesian horizons range from 42 m (1st horizon) to 176 m (5th horizon) and mostly consist of sand, partly of fine/medium/coarse gravel and partially with minor clay content. In order to analyse the reaction of the Grafendorf aquifer to these redevelopments, data of 5 monitoring wells were provided by the Styrian Government. 3 wells (Brunnen 5960, 5964, 5966) are shallow groundwater wells and 2 wells (Brunnen 59680, Arteser Grafendorf III) are deep groundwater wells. One of the deep groundwater wells is also an artesian well, which is the "Arteser Grafendorf III". In order to analyse the hydraulic connection between the wells not only a visual hydrograph comparison has been done but also a cross-correlation with the time periods before and after the decommissioning campaign has been performed by using Matlab. Additionally pumping test analysis of boreholes in the near of Grafendorf have been performed by using AQTESOLV in order to analyse how the results of the different boreholes differ from one another. Also, different analytical solutions (Cooper&Jacob, Theis, Papadopulos&Cooper, Barker, Dougherty&Babu, Murdoch) have been used and compared with one another. The comparison helps to understand which analysing method is the proper one to apply for individual cases. Furthermore it was of great interest to observe how the results between the different methods change.

The value of the transmissivity decreases in the south direction. In the case of such results, it can be difficult to draw conclusions, since the boreholes in different pumping tests reached down to different aquifers. The results for the storativity are almost the same regardless of location. In average the storativity is $5,88 \cdot 10^{-2}$. Overall, the results for the transmissivity of the different pumping test solutions hardly differ. The calculated average transmissivity for the near Grafendorf (11 to 19 km), is $9,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. The calculated average transmissivity of the boreholes, which are further away from Grafendorf (28 to 35 km), is $7,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. On the contrary, the results for the storativity differ highly, which was used to determine the proper analytic solution. The average applicability of the pumping test solutions has also been compared. The pumping test solution Papadopulos&Cooper and Barker have the best results for the drawdown (approximately 85 %). For the recovery the pumping test solution Barker was the strongest performer with approximately 95 %. Not only are the results relevant,

but also the manner in which the methods adapt to the drawdown curve as well as the recovery curve. In this case Murdoch has the highest adaption to the drawdown curve with about 78 %. The Theis method adapted with about 78 % to the recovery curves.

Before the decommissioning campaign the observation wells also had similar trends. In some time periods, a reaction of the groundwater with a time shift from north to south is also noticeable. During the decommissioning campaign (April 2013 to August 2013) all wells have a decreasing water table. After the decommissioning campaign the "Arteser Grafendorf III" has an increasing water table of about 1.00 m whereas the "Brunnen 5960" has an decreasing groundwater of about 1.45 m. The groundwater of the wells "Brunnen 5964 and 5966" have increased by about 0.50 m. "Brunnen 59680" has only a slight increase by about 0.05 m. The cross-correlation has almost the same results as those observed with the visual hydrograph comparison. Before the decommissioning campaign the wells (except the "Arteser Grafendorf III") correlate very well to moderately well with one another, which is between $r(k)=0.62$ to 0.75 . "Brunnen 5960" has a delayed peak in the cross-correlation with the wells "Brunnen 5966 and 59680", which refers to the delayed reaction of the wells from north to south. The correlation of "Arteser Grafendorf III" with the other wells ranges from good to bad ($r(k)=0.65$ to 0.57). After the decommissioning campaign the "Brunnen 5960" doesn't correlate with the other wells anymore. However this has already been recognised in the visual hydrograph comparison. Interestingly, the correlations of the wells "Brunnen 5964 and 59680" as well as "Brunnen 5964 and 5966" show a delayed peak. This also indicates a reaction of the wells to the south.

In a nutshell, the hydraulic connection of the shallow and deep aquifers has been discontinued by the decommissioning campaign. Furthermore, only the wells in the immediate area surrounding Grafendorf show a longer-lasting effect of the decommissioning campaign. The water level of well "Brunnen 5960" is decreasing since the well misses the groundwater from the deeper horizons. The artesian well "Arteser Grafendorf III" reaches down to the 3rd horizon and the majority of the wells, which have been closed also reached down to the 3rd horizon. This is the reason why the "Arteser Grafendorf III" has an increasing groundwater table. The wells have a delayed reaction of the groundwater, which indicates the same recharge area in the north. As the wells "Brunnen 5964, 5966 and 59680" are farther from Grafendorf, they have recovered quickly as they might have other catchment areas too. However, the regeneration of the aquifer has been mostly positive so far. Nevertheless, more studies must be done in future in order to prove the long-term behaviour of the aquifer and, in particular, to investigate the reaction of the individual horizons and the interaction between them.

3. EINLEITUNG

In Grafendorf bei Hartberg in der Steiermark sind 59 artesische Brunnen verpresst worden. Der Großteil der Hausbrunnen wurde in den 50er und 60er erstellt. Daher entsprachen diese 59 artesischen Brunnen entweder nicht mehr dem Stand der Technik oder wurden nicht genutzt. Hinzu kommt noch, dass viele der Brunnen ohne Bewilligung genutzt wurden. Um das unkontrollierte Ausfließen des Grundwassers und die Vermischung der Horizonte zu vermeiden, wurden die Arteser verschlossen. Die Sicherstellung der nachhaltigen Nutzung des Tiefengrundwassers ist dabei Sinn und Zweck der Verschließungen. Aus dem Bericht Giuliani, 2013 geht hervor, dass ein kontinuierlicher Schüttungs- und Druckspiegelrückgang seit den 50er und 60er Jahren im Bereich des „TGWK Steirisches und Pannonisches Becken“ sowie „TGWK Oststeirisches Becken“ anhält (TGWK = Tiefengrundwasserkörper). Speziell in Grafendorf bei Hartberg gibt es seit 1950 einen Rückgang von 75 %. Dabei ist bis 2013 die durchschnittliche Schüttung von 0,334 l/s pro Brunnen auf 0,090 l/s pro Brunnen gesunken.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Erfassung und Beschreibung der quantitativen und qualitativen Auswirkungen der zuvor erwähnten Verschließungen der artesischen Brunnen auf die zugrunde liegenden Grundwasserkörper. Dafür wird eine Charakterisierung der Grundwassersysteme auf Basis der vorliegenden Daten der bisher durchgeführten Untersuchungen erfolgen.

Es sind mehrere Pumpversuche aus verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Auswertemethoden analysiert worden, um das gesamte Aquifersystem beschreiben zu können. Zusätzlich liegen Druckspiegelmessungen von Brunnen in näherer Umgebung zu Grafendorf bei Hartberg vor, die auf ihren Trend analysiert worden sind.

Obwohl die Verschließung von Brunnen in anderen Ländern ebenfalls vorangetrieben wird, gibt es relativ wenige wissenschaftliche Studien über die Reaktion der Aquifersysteme auf Verschließungsarbeiten artesischer Brunnen. Dies mag auch an den unterschiedlichen Gründen für die Verschließungen der Brunnen liegen. In Ontario (Kanada) bestehen etwa 500.000 Brunnen, die nicht mehr in Verwendung sind. Da die Kontaminationsrate des Grundwassers durch vernachlässigte Brunnen nachgewiesen werden konnte, wurde in Ontario eine Kampagne für Verschließungen von Brunnen durchgeführt (Kreutzwiser et al., 2010). Hier steht als Grund für die Verschließungen die Kontamination des Grundwassers durch Chemikalien oder Bakterien im Vordergrund, die durch vernachlässigte Brunnen begünstigt wird. In Washington (USA) wird zum Beispiel damit geworben die eigenen Brunnen verschließen zu lassen, um Verletzungen von Menschen und Tieren zu vermeiden. Denn die Brunnen sind von ihrem Umfang her so groß sind, dass Menschen und Tiere hineinstürzen können. Da aus diesem Grund die Verschließungen vorangetrieben werden, wird die Reaktion auf den Aquifer nicht beobachtet (www.ecy.wa.gov, 2016). Die Verschließungen werden wie in Ontario vom Staat finanziert, um möglichst viele Brunnenbesitzer dazu zu bewegen eine Verschließung zu veranlassen. (www.peelregion.ca, 2016; www.wellaware.ca, 2016). In Kalifornien (USA) wird ebenfalls stark dafür geworben, ungenutzte Brunnen zu verschließen. Als Hauptgründe zählen die Gefahr, dass Kinder und Tiere hineinstürzen könnten, sowie die mögliche Kontamination des Grundwassers (www.ngwa.org, 2016). Neben der Kontamination des Grundwassers wird in England auch die Wichtigkeit der Erhaltung der Wasserressourcen angeführt (www.nationalarchives.gov.uk, 2016).

4. GEOLOGIE DES STEIRISCHEN BECKENS

Durch die Kompression infolge der Kollision von adriatischer und europäischer Platte entstanden Krustenteile. Die Krustenteile wurden dabei in Richtung des pannonischen Bereichs (Richtung Osten) gedrängt. Dies geschah entlang von sinistralen und dextralen Seitenverschiebungen. Die Hauptstörungen sind die Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung (sinistral) und die Periadriatische Störung (dextral). Als Resultat entwickelte sich das Steirische Becken als pull-apart Becken (Nanutiwa, 2005). Zu Beginn des Miozäns wurde die Flyscheinheit auf die Molasse überschoben, womit die alpine Orogenese abgeschlossen wurde. Die Hebung der Alpen begann mittel- bis späthelvetisch mit langsam endenden alpinen Tangetialbewegungen, die zu vereinzelt Schuppungen in der Molasse führen (Flügel & Heritsch, 1968). Zeitgleich mit der Heraushebung des Gebirges begann die Absenkung des Steirischen Beckens und wirkte weit in die Alpen ein (Flügel & Heritsch, 1968) (Abbildung 1).

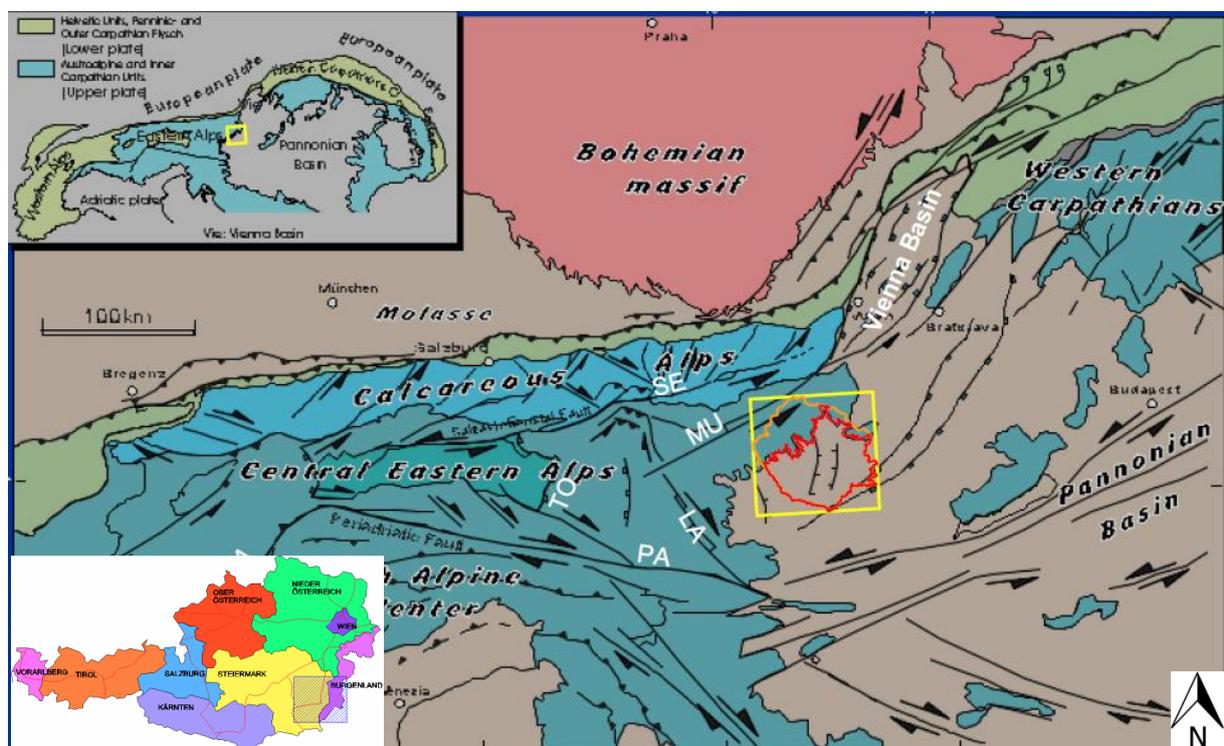


Abbildung 1: Übersicht des Projektgebietes. Position des Steirischen Beckens im Raum Alpen, Karpaten Pannonisches Becken (Zojer & Domberger, 2005).

Beim Steirischen Becken handelt es sich im Gegensatz zum Wiener Becken (Absenken über Bruchsysteme) um einen kontinuierlichen Absenkungsprozess, wobei die Hauptabsenkungsphase im Karpat bis Sarmat einsetzte und bis ins Pannon andauerte. Im Gegensatz zum Wiener Becken haben sich aus diesem Grund weniger Brüche gebildet (Abbildung 1). Während des Neogens verschob sich der Absenkungsmittelpunkt vom Südostbeckenrand der Alpen zum Pannonischen Becken (Beckenzentrum). Da die Absenkung gebietsweise mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten voranging, haben sich zum einen innerhalb des Beckens einzelne Schwellen und Becken herauskristallisiert, zum anderen ändert sich die Sedimentmächtigkeiten je nach Lokation (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1998). Das Steirische Becken wird in Sausal- oder Mittelsteirische Schwelle, Weststeirisches Becken und Oststeirisches Becken unterteilt, wobei der Senkungsraum des Oststeirischen Beckens wiederum in separate Senkungszentren untergliedert wird. Zu diesen zählen das Gnaser

Becken, Fehringener Becken und Fürstenfelder Becken, die durch Schwellenbereiche voneinander getrennt werden (Flügel & Heritsch, 1968) (Abbildung 2). Die Senke von Weichselbaum verbindet das Westpannonische und Oststeirische Becken, wohingegen die Südburgenländische Schwelle den westpannonischen Senkungsraum und das Oststeirische Becken voneinander abtrennt. Das signifikanteste Becken ist das Fürstenfelder Becken, welches durch die Söchauer Schwelle vom Fehringener Becken abgetrennt wird (Nanutiwa, 2005). Die Ortschaft Grafendorf bei Hartberg, die sich nördlich von Hartberg befindet, wird dem Fürstenfelder Becken, das etwa 3500 m tiefe Sedimente aufweist, zugeteilt (Flügel & Heritsch, 1968) (Abbildung 3). Aus diesem Grund wird im Anschluss kurz auf das Fürstenfelder Becken eingegangen.

Im Westen und Norden, an das Oststeirische Becken angrenzend, befindet sich präneogenes Grundgebirge der zentralostalpinen tektonischen Großeinheit. Das präneogene Grundgebirge setzt sich unter dem Steirischen Becken fort (Nanutiwa, 2005).

Fürstenfelder Becken

Die Ablagerungen des Fürstenfelder Beckens, die dem Karpat zugeteilt werden können, zeigen deutliche Differenzen zu den restlichen Becken. Es besteht eine Wechsellagerung von feinkörnigen bis harten, sandigen, feingebänderten Mergeln und Lagen polymikter Konglomerate und es liegen Anzeichen für subaquatische Rutschungen vor (Flügel & Heritsch, 1968).

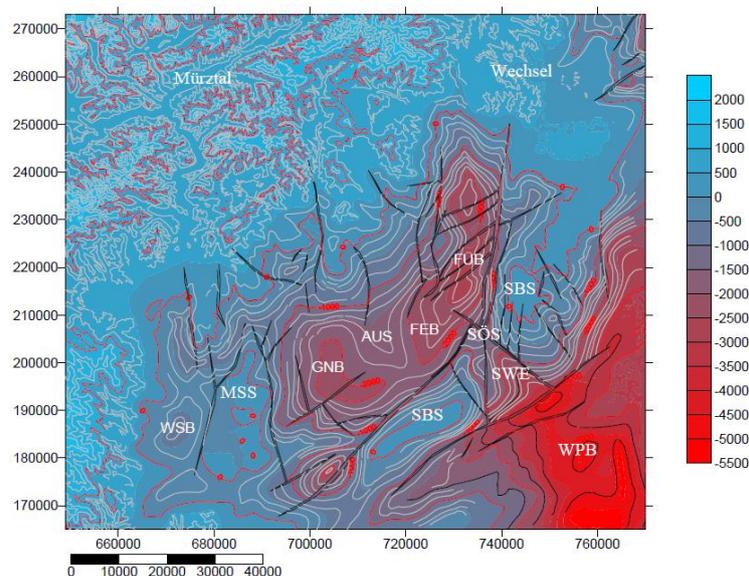


Abbildung 2: Übersicht der präneogenen Umrahmung und des Untergrundes. Von West nach Ost: Weststeirisches Becken (WSB), Mittelsteirische Schwelle (Sausalschwelle, MSS), Gnaser Becken (GNB), Fehringener Becken (FEB), Fürstenfelder Becken (FÜB), Südburgenländische Schwelle (SBS), Auersbacher Schwelle (AUS), Söchauer Schwelle (SÖS), Senke von Weichselbaum (SWE), Westpannonisches Becken (Raabgraben, WPB) (Nanutiwa, 2005).

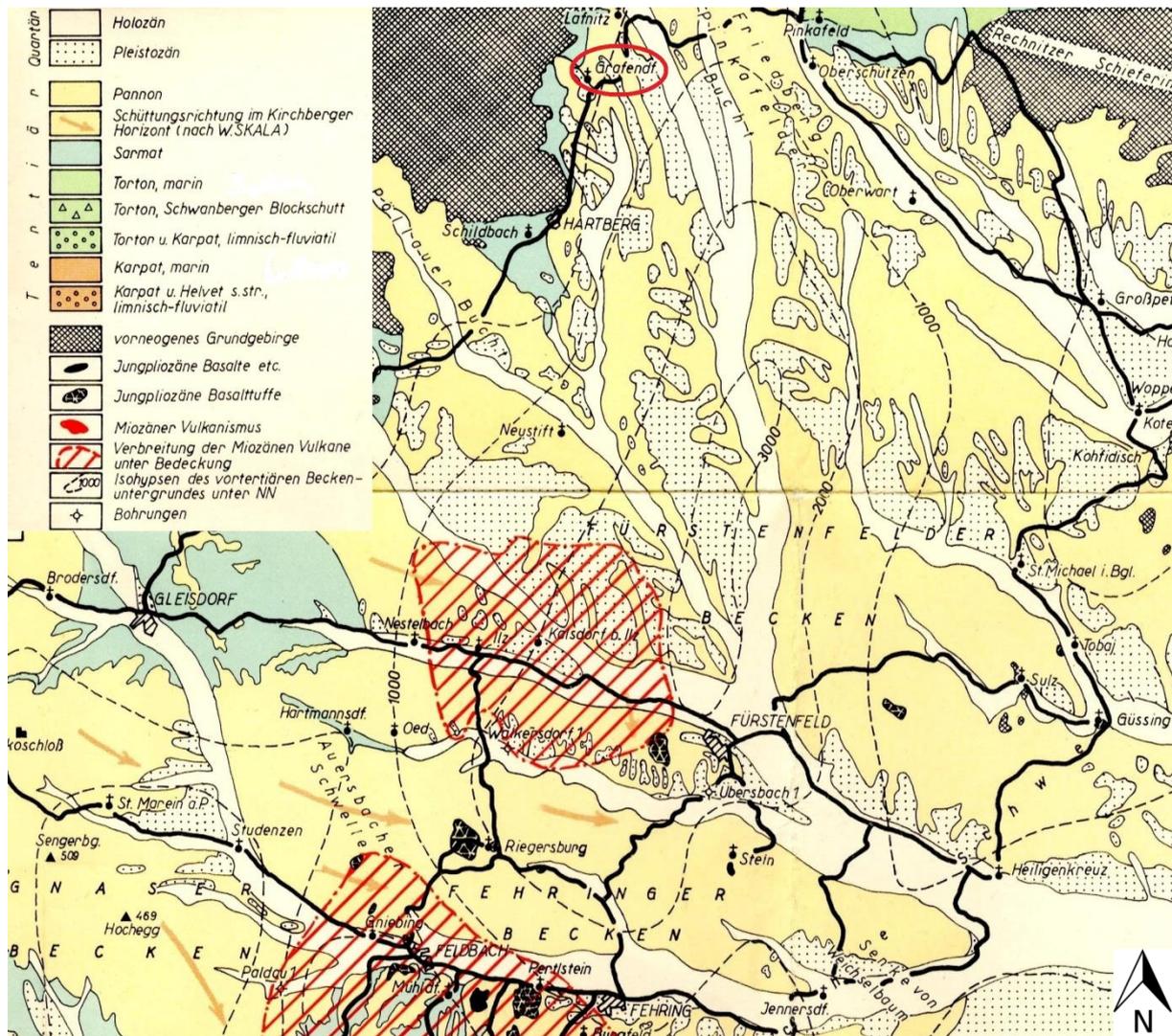


Abbildung 3: Geologische Übersichtskarte des Steirischen Beckens. Grafendorf ist mit einem roten Kreis markiert (Flügel & Heritsch, 1968).

ABLAGERUNGEN DES NEOGENS

Karpat

Im Karpat hielten die groben terrigenen Einschüttungen an. Daraufhin trat eine Meeresingression mit marinen, tonigen Ablagerungen ein (Zojer & Zetinigg, 1987). Veranlasst durch Manteldiapire in back-arc Lage kam es zur Ausdünnung der Kruste von West nach Ost, wo es daraufhin an der Karpat/Baden Grenze zur ersten magmatischen Phase kam (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997). Die bemerkenswertesten Relikte des miozänen Vulkanismus sind Dacite und Trachyte des Gleichenberger Kogels. Des Weiteren waren die Krustenbewegungen und Verlagerung der Schichten durch die Manteldiapire bedingt. Folglich sind sie für die Gebirgsrandhebung essentiell (Zojer & Zetinigg, 1987). Durch die tektonische Dehnung kam es zur Ausbildung von Teilbecken, was eine Verbindung zur zentralen Paratethys zur Folge hatte. Der Fürstfelder Grabenbruch, die Hauptabsenkung, führte zur Bildung des Fürstfelder Beckens.

Neogene Grobklastika (Sinersdorfer Blockschotter und Konglomerate) des Karpats, die als limnisch-fluviatile Bildungen und Wildbachsedimente aufgefasst werden, lagern nordöstlich von Hartberg und in der Bucht von Pöllau auf dem Grundgebirge. Es ist ein Zusammenspiel verschiedener Eigenschaften, die solche Ablagerungen als Grundwasseranreicherungsquelle für artesische Grundwasserleiter in Frage kommen lässt. Wichtig dabei sind unter anderem der Anschluss zu fluviatilen Sedimenten des Sarmats sowie die morphologische Höhenlage (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Baden

Die „Steirische Diskordanz“ („Steirische Phase“) ist das Resultat von kippenden Festlandschollen (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997). Langsam minimierte sich der Vulkanismus, während die Absenkung des Beckens fortsetzte und somit das Einschütten von Blockschutt vorantrieb (Zojer & Zetinigg, 1987). Der Meeresspiegelanstieg, der zu grobklastischen Schüttungen aus dem Kristallin im Westen führte, fand zur selben Zeit wie die Bildung von großflächigen andesitischen Schildvulkanen, welche Inseln über dem Meeresspiegel bildeten, statt (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997). Ebenso ist die Entwicklung von biogenen Flachwasserkarbonaten (Leithakalk des Wildoner Buchkogels), die durch die karbonatische Entwicklung im Westen bedingt sind, an Hochzonen präsent (Zojer & Zetinigg, 1987). Vollmarine Sedimentation, also Sandsteine und Tonmergel, sind im Baden dominant (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997). Daher finden sich bspw. Wechsellagerungen von Tonmergeln und Sandsteinen im Fürstenfelder Becken (Zojer & Zetinigg, 1987).

Sarmat

Der vollmarine Einfluss ging im Sarmat zurück und es folgten brackische Verhältnisse (Erhart-Schippek & Meyer, 1998). Lithologisch ist im Sarmat daher hauptsächlich eine Wechselfolge von Tonen, Sanden und Kiesen vertreten (Zojer & Zetinigg, 1987). An der strukturellen Hochzone des Gleichenberger Massivs und am Gleisdorfer sowie Hartberger Sarmatsporn sind obertage Sarmatgesteine vorhanden. Stellenweise, wie bspw. in Kulmberg oder um Hartberg, verzahnen sich Sedimente eines limnisch-brackischen Schwemmlandbereiches mit brackisch-marinen Sedimenten und unter Baden-/Sarmatserien befinden sich Schildvulkane (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997). Im Norden, in der Umgebung von Hartberg, zeigen die verzahnten Sedimente eine leichte Einsenkung, indessen erfährt der südliche Bereich eine Hebung (Zojer & Zetinigg, 1987).

Die Erosion von sarmatischen Sedimenten am westlichen Gebirge und der Südburgenländischen Schwelle war durch die Erhebung des südwestlichen Oststeirischen und Weststeirischen Beckens bedingt. Für die artesischen Grundwasserleiter der Sarmat-Schicht sind vermutlich Einschaltungen von permeablen Klastika, die aus dem randnahen fluviatil-limnischen Ablagerungsraum kommen, wie etwa Gleisdorfer Schichten oder Hartberger Schichten, verantwortlich (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Unterpannon

Im Unterpannon wurde das Ablagerungssystem weiter ausgesüßt. Dass die Schicht des Pannon A nicht vorhanden ist hängt mit dem Rückgang des Seespiegels zusammen. Im Pannon B sedimentierte hingegen eine Wechselfolge von fossilführenden Sanden und Tonmergeln, außerdem wurden höhere Anteile aus gebänderten Tonmergeln, Sand- und

einzelnen Kieslagen aufgebaut. Im Norden und Süden des Oststeirischen Beckens ist das Pannon B über der Sarmat-Schicht freigelegt (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Pannon C, das aus einer fluviatilen und zyklischen Wechsellagerung besteht, ist im Oststeirischen Becken am stärksten vertreten. Hierbei werden 4 Kieshorizonte, die durch Feinklastika voneinander getrennt werden, differenziert. Dazu zählen (vom Liegenden ins Hangende): Kapfensteiner-, Kirchberger-, Karnerberger- und Schemmerl-Schotter. Die klastischen Serien bilden in Betracht kommende artesische Grundwasserleiter (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Alluviale Schuttfächer wie bspw. die Pucher Schotter stießen Richtung Südosten und Süden aus dem Kristallinrand im Nordwesten vor. Die alluvialen Schuttfächer werden von den Sedimenten des alluvialen Tieflandes abgelöst. Je weiter die Ablagerungen beckeneinwärts liegen, umso geringer ist die Korngröße. Die Kristallingerölle nehmen ab und mit zunehmender Transportweite steigt Sortierung, Geröllrundung, feinkörnige Matrix und Anteil an Quarzgeröllen. In der vertikalen Abfolge finden sich ins Hangende Kornvergrößerungen wieder. Auch eine Ablagerung unter oxidierenden Bedingungen über dem Grundwasserniveau und eine größtenteils einheitliche Strömungsrichtung gegen das Beckenzentrum hin sind in der vertikalen Abfolge vertreten (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Im Bereich der mittleren und randfernen Schuttfächer befinden sich geringe bis mittlere Mächtigkeiten und sehr oft ein Übergang von massigen Kiesen zu horizontalgeschichteten feinklastischen, kohäsiven Sedimenten. Die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Lithofaziestypen nach Miall, 1978 haben gezeigt, dass etwa ein Drittel des Sedimentationsgeschehens durch Schichtflutprozesse charakterisiert ist. Die Ablagerungen, die nach den mittleren und randfernen Schuttfächer in Richtung Becken folgen, sind durch ein mäandrierendes Flußsystem entstanden (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Da es zu einer Anhebung des Hinterlandes kam, wurden die Schwemmlandflächen versteilt. Dies hat den Schotterkörpern (Kapfensteiner, Kirchberger, Karnerberger, Schemmerl Schotter) ermöglicht bis weit ins Oststeirische Becken vordringen zu können und mehrere Meter mächtige Kieslagen waren die Folge. Die Kapfensteiner und Kirchberger Schotter bestehen aus Quarz-Kristallin-Geröllen. Einen geringen Karbonatgehalt weisen die Karnerberger Schotter bei der Geröllführung auf. Die Schemmerlschotter sind durch ihren signifikanten Karbonatanteil charakterisiert. Die Mächtigkeit der hangenden Übergangsschichten zwischen den markanten Schotterkörpern beträgt 50 bis 80 m (limnische Zwischenserie) (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Mittelpannon

Hier treten vorwiegend feinkörnige bis mergelige Siliziklastika, tlw. mit Kohlelagen, auf, die als fluviatile und limnische kohleführende Sedimente bezeichnet werden. Das Mittelpannon (Pannon D, E) ist auf den Bereich um die Südburgenländische Schwelle an der Grenze Steiermark/Burgenland beschränkt (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Pont

Die Schichten des Ponts (früher Pannon F, G, H) treten östlich der Südburgenländischen Schwelle auf. Dazu gehören die Taborer Schotter und die blaugrünen Tone der Jennersdorf-Formation (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Pliozän

Das Steirische Beckens wird im Pliozän gehoben, damit ging das Einsetzen der Erosion der Ablagerungen einher. Die zweite magmatische Tätigkeit vor 3,8 bis 1,7 Millionen Jahren (basaltische Phase) hatte Lavaströme aus vulkanischen Schloten zur Folge, die Calderen und Maare verursachten. Diese wurden in weiterer Folge von Sedimenten verfüllt (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

Quartär

Im Quartär war die gegen Südosten abfallende eingeebnete Landschaft eisfrei. Weitere Terrassensedimente, der aus dem Alpenostrand abfließenden Flußsysteme und Lößdecken, kamen zur Ablagerung. Eine erosive Zerlegung durch das der Raab und Mur zuströmende Entwässerungsnetz setzte ein. In den alluvialen Talfüllungen liegen seichte Grundwässer (z.B. zusammengefasst in Erhart-Schippek & Meyer, 1997).

GEOLOGIE VON GRAFENDORF

Grafendorf bei Hartberg liegt direkt am Alpenostrand (Abbildung 3, Abbildung 4). Der Alpenostrand ist größtenteils aus Gneisen des Unterostalpins aufgebaut und weist ein steiles Gefälle auf. Das steile Gefälle ist am Beispiel des Höhenunterschieds des Grazer Kogels mit 1.248 m zu Grafendorf bei Hartberg mit 383 m ü. A. nachvollziehbar (Zötl et al., 1972).

Grafendorf befindet sich auf pannonischem Untergrund, der aus feinklastischen Sedimenten (mächtige Ton- und Tegellagen mit Sand- und Schotterlinsen) besteht und ist somit gering wasserdurchlässig. Sandlinsen können zwar kleine Quellen bilden, allerdings sind sie nicht von großer Bedeutung (Zötl et al., 1972). Nördlich von Grafendorf bei Hartberg und in Hartberg sind Sedimente des Sarmats aufgeschlossen, welche in nordsüdlicher Richtung einfallen (Gross et al., 2007). Hierzu gehören Sande und Sandsteine mit Kalkbänken. Die Kalkbänke sind z.T. fossilreich und abgesehen von den tonigen Einschaltungen auch gut wasserdurchlässig. Es bestehen Bohrungen in Grafendorf bei Hartberg, die darauf hinweisen, dass die Sarmatschichten durch den tektonischen Prozess ungleichmäßig abgesunken sind. Damit sind die wasserführenden Schichten großräumig nicht durchgehend hydraulisch verbunden. Westlich von Grafendorf ist miozäner Blockschutt vorzufinden, der mittel gut wasserdurchlässig ist, da er zumeist aus Tonlagen und Sanden besteht. Minderwasserdurchlässige Schichten sind jungpliozäne und pleistozäne Terrassen, aufgebaut aus Schotter- und Lehmdecken, die westlich von Grafendorf auftreten (Zötl et al., 1972) (Abbildung 4).

Geologische Karte
1:50 000

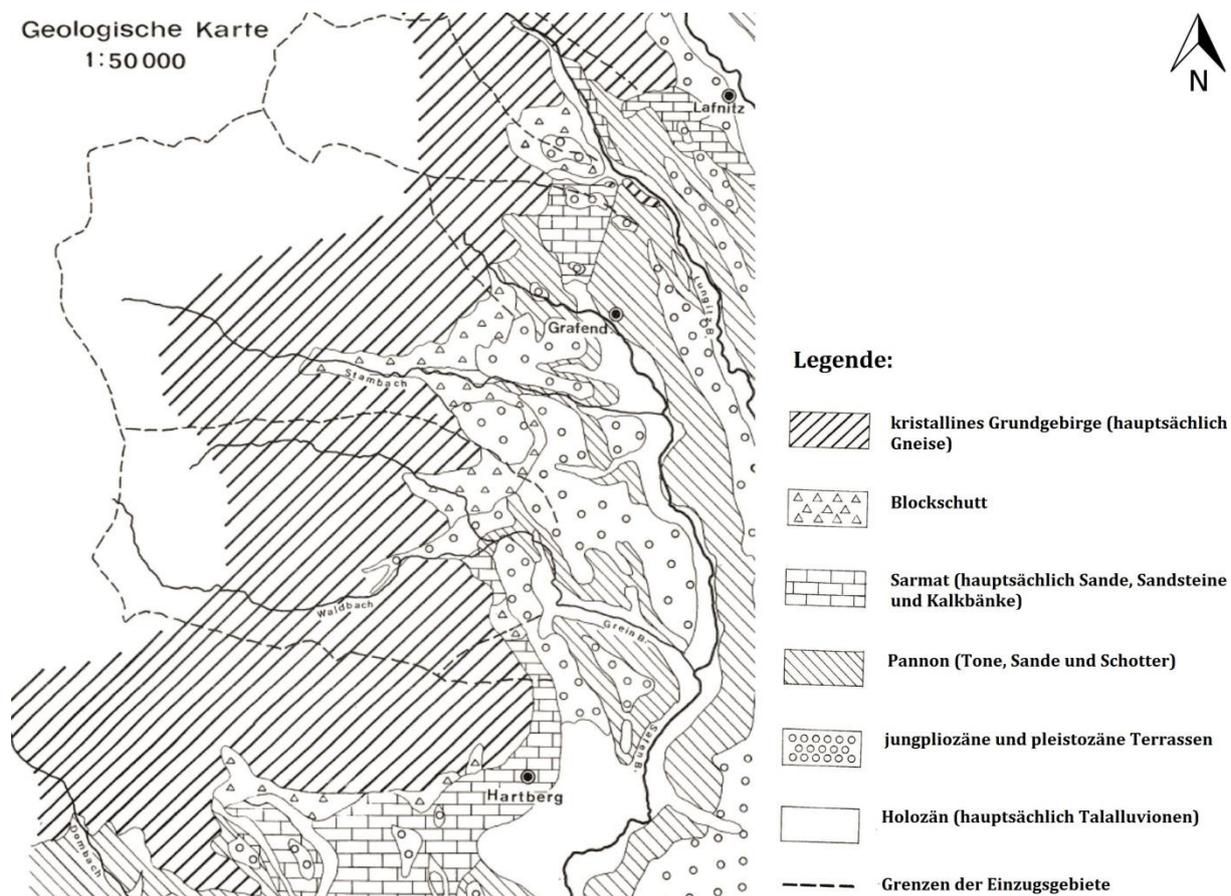


Abbildung 4: Geologischer Aufbau im Raum Grafendorf (Zötl et al., 1972).

Hydrogeologie und Datenlage von Grafendorf bei Hartberg

Um einen näheren Einblick in die Hydrogeologie von Grafendorf bei Hartberg und näherer Umgebung zu erhalten, werden aufgenommene Hausbrunnen und vorhandene Bohrungen beschrieben. Beobachtungsbrunnen, die in dieser Arbeit zur Trendanalyse verwendet werden, werden in diesem Abschnitt ebenfalls erläutert. Die Brunnen, die für die Pumpversuchsauswertungen hergenommen werden, sind auch kurz in diesem Kapitel dargestellt.

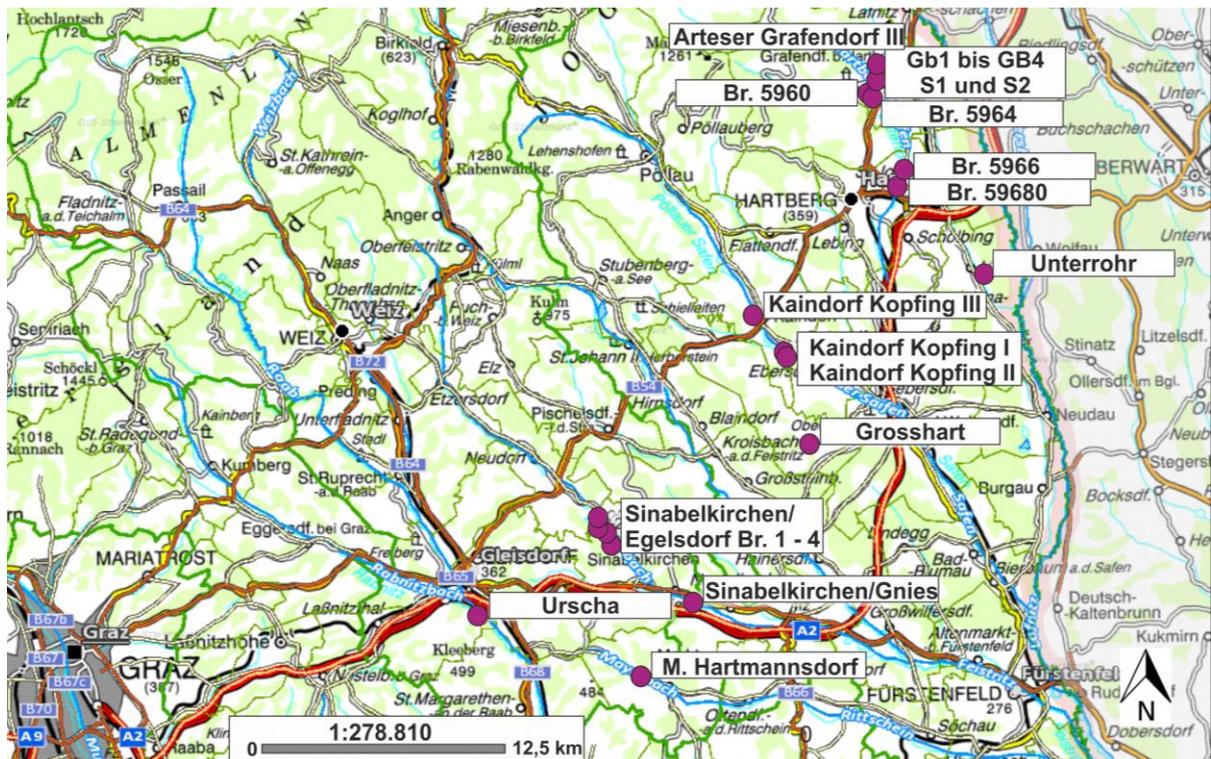


Abbildung 5: Übersichtskarte aller Brunnen, die in dieser Arbeit behandelt werden. (gis.steiermark.at, 2016)

Zunächst erfolgt die Beschreibung der Hausbrunnen und Bohrungen in Grafendorf bei Hartberg. Da sich Seibersdorf am Hammerwald 1 km südlich von Grafendorf bei Hartberg befindet, werden aufgrund der Nähe zu Grafendorf auch die dortigen Bohrungen und Hausbrunnen beschrieben (Abbildung Anhang 1).

In Grafendorf sind laut Zetinigg et al., 1972 52 artesische Hausbrunnen aufgenommen worden. Die Brunnen erfassen je nach Tiefe unterschiedliche artesischen Horizonte. Die Angaben der Brunnentiefen stammen von den Brunnenbesitzern, die sich größtenteils nicht eindeutig sicher waren, wie tief die hauseigenen Brunnen sind. Bei den meisten Brunnen ist die Verrohrung zwischen 10,00 und 20,00 m tief, wobei das restliche Bohrloch offen steht, was eine Vermischung der artesischen Horizonte zur Folge hat. Es wird angenommen, dass der Haupthorizont der Hausbrunnen zwischen 60 und 85 m Tiefe liegt. Der oberste artesische Horizont liegt zwischen 22,00 und 48,00 m Tiefe. Es wird angenommen, dass mindestens 30 der artesischen Hausbrunnen bis zum 3. artesischen Grundwasserleiter gelangen. Die Gesamtschüttung aller Hausbrunnen wird bei 5 l/s angenommen (Zetinigg et al., 1972).

In Seibersdorf am Hammerwald sind 12 Hausbrunnen aufgenommen worden. Es liegen 2 Horizonte vor, die tlw. nicht eindeutig voneinander abzugrenzen sind. In der Nähe des Grundgebirges laufen die Horizonte bspw. ineinander. In Seibersdorf gestaltete sich die Einschätzung der Tiefe der Horizonte etwas schwieriger als in Grafendorf. Es wird vermutet, dass die Hausbrunnen insgesamt 2 artesischen Horizonte in ca. 37,00 und 52,00 m erfassen. (Zetinigg et al., 1972). Jedenfalls gestaltet ist eine genaue Angabe der Tiefe der artesischen Horizonte der Hausbrunnen nicht möglich, da sie auf Aussagen der Brunnenbesitzer basieren.

Um die einzelnen artesischen Horizonte in Grafendorf und Seibersdorf genau zu untersuchen, wurden 4 Bohrungen in Grafendorf und 2 in Seibersdorf niedergebracht (Tabelle 1, Tabelle 2). Die Bohrfirma Etschel & Meyer aus Schladming hat die Bohrungen in Grafendorf bei Hartberg und Seibersdorf am Hammerwald vom 28.10.1969 bis zum

18.3.1970 durchgeführt (Zetinigg et al., 1972) (Abbildung_Anhang 2 bis Abbildung_Anhang 8).

Tabelle 1: Mächtigkeiten und Tiefen der artesischen Horizonte der Bohrungen in Grafendorf 1 - 4, Anordnung von Osten nach Westen, die kursiven Horizonte wurden mit einer Filterverrohrung erschlossen (Zetinigg et al., 1972).

Artes. Horizont	Bohrung Grafendorf 4 [m]	Bohrung Grafendorf 3 [m]	Bohrung Grafendorf 1 [m]	Bohrung Grafendorf 2 [m]
1	42,30 - 44,13 (1,83)	42,30 - 44,13 (1,83)	41,40 - 43,30 (1,90)	42,90 - 44,10 (1,20)
2	50,30 - 57,70 (7,40)	50,30 - 57,70 (7,40)	50,30 - 56,50 (6,20)	50,30 - 57,60 (6,90) Ton: 56,00 - 56,40
3	68,85 - 88,80 (19,75)	68,85 - 88,80 (19,95)		
4	126,50 - 137,20 (10,70) Tonig	126,50 - 137,20 (10,70) Tonig		
5	166,20 - 176,20 (10,00)	166,20 - 176,20 (10,00)		
	Endtiefe: 182,00 Ausbautiefe: 182,00 m Kristalliner Untergrund	Endtiefe: 182,00 Ausbautiefe: 97,89 m Kristalliner Untergrund	Endtiefe: 59,90 Ausbautiefe: 56,90 m	Endtiefe: 59,35 Ausbautiefe: 45,15 m

Tabelle 2: Mächtigkeiten und Tiefen der artesischen Horizonte der Bohrungen in Seibersdorf 1 und 2, die kursiven Horizonte wurden mit einer Filterverrohrung erschlossen (Zetinigg et al., 1972).

Artesischer Horizont	Bohrung Seibersdorf 1 [m]	Bohrung Seibersdorf 2 [m]
1	12,70 - 15,30 (2,70)	12,70 - 15,30 (2,60)
2	17,90 - 27,40 (9,50)	
3	43,80 - 48,30 (4,50)	
	Endtiefe: 125 Ausbautiefe: 49,80	Endtiefe: 16,50 Ausbautiefe: 16,50

Tabelle 3: Die Tiefe des Filterrohrs und die Seehöhe der Brunnen sowie der wasserführenden Schicht und die Endtiefen der Bohrungen Grafendorf 1 bis Grafendorf 4, Seibersdorf 1 und Seibersdorf 2.

Name der Bohrung	Filterrohr	Seehöhe d. Brunnen	Seehöhe d. wasserführenden Schicht	Endtiefe
Bohrung Grafendorf 4	166,20 m – 176,20 m (10,00 m)	391,50 m ü. A.	225,30 – 215,30 m ü. A.	182,00 m
Bohrung Grafendorf 3	68,85 m – 88,80 m (19,95 m)	392,00 m ü. A.	323,15 – 303,20 m ü. A.	182,00 m
Bohrung Grafendorf 1	50,30 m – 56,50 m (6,20 m)	393,70 m ü. A.	343,40 – 304,90 m ü. A.	59,90 m
Bohrung Grafendorf 2	42,90 m – 44,10 m (1,20 m)	394,00 m ü. A.	351,10 – 349,90 m ü. A.	59,35 m
Bohrung Seibersdorf 1	17,90 m – 27,40 m (9,50 m) 43,80 m – 48,30 m (4,50 m)	386,90 m ü. A.	369,00 – 359,50 m ü. A.	125,00 m
Bohrung Seibersdorf 2	12,70 m – 15,30 m (2,60 m)	386,60 m ü. A.	376,90 – 371,30 m ü. A.	16,50 m

In Grafendorf sind 4 der 5 artesischen Horizonte mit jeweils einer eigenen Bohrung erfasst worden (der 4. artesische Horizont wurde nicht ausgebaut). Der 1. artesische Horizont liegt bei etwa 42 m (3,5 l/s bei 0,7 bar) und der 2. artesische Horizont (0,9 l/s bei 1,6 bar) bei etwa 50 m Tiefe. Mächtigkeit, Überlauf (30 l/s) und Druck (bei 1,7 bar) des 3. und 5. Horizonts sind bemerkenswert höherer als die der restlichen Horizonte. Der 3. artesische Horizont liegt bei etwa 69 m. Der 5. Horizont liegt hingegen etwas tiefer mit etwa 166 m und wird nicht von den Hausbrunnen erreicht. In Grafendorf bei Hartberg liegt die tiefste Endtiefe bei 182 m. In Seibersdorf wurde bis zu einer Endtiefe von 125 m gebohrt, wobei bis ca. 49 m 3 artesische Horizonte angetroffen und mit jeweils 2 Bohrungen getrennt ausgebaut wurden. Dabei wurde eine 2. zentrisch in die Filterstrecke des zweiten Horizontes eingebaute kleinkalibrige Verrohrung zur Fassung des 3. Horizontes verwendet. Der 1. artesische Horizont befindet sich bei etwa 13 m (0,2 l/s mit unbekanntem Druck), der 2. bei etwa 18 m (1,25 l/s bei 0,5 – 0,6 bar) und der 3. bei etwa 44 m (Zetinigg et al., 1972) (Tabelle 1, Tabelle 2).

Es wurden Blockschichten in den tieferen Bohrungen (ab 80 m) von Grafendorf und Seibersdorf angetroffen. In Grafendorf wurde bei 2 Bohrungen bei 97,0 m und 115,05 m Tiefe Blockschutt durchfahren, danach folgten neogene Schichten. In Seibersdorf wurde in einer Tiefe von 85,6 m Blockschutt angetroffen. Die Bohrung enthielt bis zu einer Tiefe von 125 m Blockschutt, deshalb kann weder eine weitere neogene Schicht noch

kristallines Grundgebirge ausgeschlossen werden. In Grafendorf sowie in Seibersdorf ist keine Wasserführung in den Blockschichten vorhanden (Zetinigg et al., 1972).

Die artesischen Horizonte der 2 Versuchsbohrungen in Seibersdorf haben überraschenderweise keinen weiteren Horizont ab 48 m gezeigt. Da die Hausbrunnen laut den Angaben der Besitzer zwischen 60 und 100 m liegen, hat man tiefere Horizonte vermutet. Es gibt unter anderem 2 Möglichkeiten, warum keine weiteren Horizonte aufgetreten sind. Entweder wurde bei den tieferen artesischen Brunnen der dritte artesische Horizont überbohrt oder die Verbreitung der artesischen Horizonte ist so wechselnd, dass gerade bei der Untersuchungsbohrung die tieferen Horizonte ausgefallen sind (Zetinigg et al., 1972).

Aufgrund von mikropaläontologischen Untersuchungen werden die erfassten artesischen Horizonte der Versuchsbohrungen Grafendorf 1 und 2 dem Obersarmat zugeteilt. Die Durchlässigkeitsbeiwerte der Versuchsbohrungen liegen zwischen $1,5 \cdot 10^{-5}$ und $5 \cdot 10^{-6}$ m/s (Zetinigg et al., 1972).

Die mit Filterrohren erfassten Horizonte in Grafendorf sind wie folgt beschrieben (Zetinigg et al., 1972):

- 1. artesischer Horizont:
42,90 m bis 44,10 m: Sand und verhärtete Sandeinlagen
- 2. artesischer Horizont:
50,30 m bis 56,50 m: Sand mit tlw. verhärteten Sandeinlagen
- 3. artesischer Horizont:
68,85 m bis 88,80 m: Feine Mittelkiese und Sande mit vereinzelt dünnen Tonlagen
- 5. artesischer Horizont:
166,20 m bis 176,20 m: Feinkiese und Gerölle in hellgrauem und hellgrünem sandigem Ton

Die mit Filterrohren erfassten Horizonte in Seibersdorf sind wie folgt beschrieben (Zetinigg et al., 1972):

- 1. artesischer Horizont:
12,70 m bis 15,30 m: Kies mit grauem Ton oder mit Schotter
- 2. artesischer Horizont:
17,90 m bis 27,40 m: Wechsellagerung Sand u. Feinsand – Kies – geringfügig schwache Tonlagen
- 3. artesischer Horizont:
43,80 m bis 48,30 m: Grauer, feiner bis grober Sand mit Kies, schwach tonig und Schotter in grauem Ton eingelagert

Die genauen Bohrprofile der einzelnen Bohrungen bzw. Horizonte können dem Anhang entnommen werden. In der Tabelle 1 und Tabelle 2 können die Mächtigkeiten und Endtiefen der einzelnen Bohrungen entnommen werden (Zetinigg et al., 1973).

Datengrundlage zur Trendanalyse

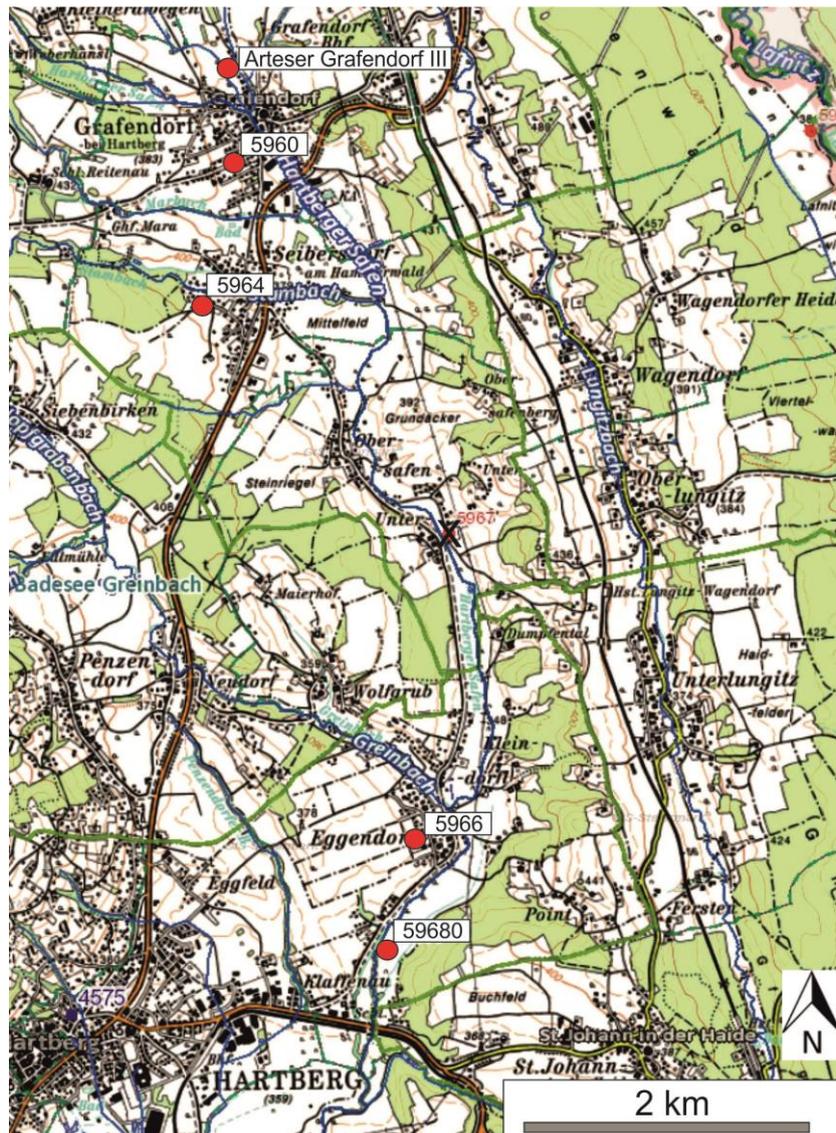


Abbildung 6: Lage der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 und Arteser Grafendorf III. Das „X“ ist ein Brunnen, dessen Messdaten nicht zur Verfügung stehen (gis.steiermark.at, 2015).

Die in weiterer Folge beschriebenen Brunnen werden für die Trendanalyse verwendet. Dafür wurden Messdaten zu 5 Brunnen in Grafendorf, die in dieser Arbeit behandelt werden, vom Land Steiermark zur Verfügung gestellt. Es wird anhand dieser 5 Brunnen untersucht, ob sich die Verschließungsarbeiten der artesischen Brunnen in Grafendorf bei Hartberg auf das Aquifersystem ausgewirkt haben. Dabei handelt es sich um folgende Brunnen:

- Arteser Grafendorf III
- Brunnen 5960
- Brunnen 5964
- Brunnen 5966
- Brunnen 59680

Am nördlichsten liegt der Arteser Grafendorf III. Der südlichste Brunnen ist 59680 und er ist ca. 6,40 km vom nördlichsten entfernt (Abbildung 6).

Tabelle 4: Endtiefe und Tiefe des Filterrohrs (somit der wasserführenden Schicht) der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680.

Name der Bohrung	Filterrohr	Hydraulisches Potential (1. min., 2. max., 3. MW)	Seehöhe, Brunnen	Seehöhe, wasserführende Schicht	Endtiefe
Arteser Grafendorf III	70,10 – 88,10 m (18,00 m)	1. 1,44 bar = 14,69 m = 409,69 m ü. A. 2. 1,51 bar = 15,40 m = 410,40 m ü. A. 3. 1,46 bar = 14,89 m = 409,89	395 m ü. A.	324,9 – 306,9 m ü. A.	95,00 m
Br. 5960	Unbekannt	1. 380,09 2. 388,49 3. 384,80 m ü. A.	389 m ü. A.	< 379,2 m ü. A. (unbekannt)	9,70 m
Br. 5964	Unbekannt	1. 384,41 2. 388,28 3. 386,23 m ü. A.	393 m ü. A.	< 381,3 m ü. A. (unbekannt)	11,70 m
Br. 5966	15,70 – 17,70 m (2,00 m)	1. 339,98 2. 345,78 3. 344,34 m ü. A.	357 m ü. A.	341,3 – 339,3 m ü. A.	17,70 m
Br. 59680	74,00 – 90,00 m (16,00 m)	1. 330,83 2. 331,69 3. 331,24 m ü. A.	333 m ü. A.	259 – 243 m ü. A.	94,00 m

Die mit Filterrohren erfassten Horizonte der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 und Arteser Grafendorf III sind wie folgt beschrieben:

- Arteser Grafendorf III
68,70 m bis 74,00 m: stark sandiger Fein- bis Mittelkies
74,00 m bis 80,00 m: grobkiesiger bis steiniger, sandiger Mittel- bis Feinkies
80,00 m bis 88,00 m: mittelkiesiger Feinkies bis Sand
- Brunnen 5960:
Endtiefe bei 9,70 m (wasserführender Horizont unbekannt): Sand
- Brunnen 5964:
Endtiefe bei 11,70 m (wasserführender Horizont unbekannt): Sand, Kies mit Sand und Schotter (tlw. tonhaltiger Kiesschotter)
- Brunnen 5966:
15,70 m bis 17,70 m: toniger Sand
- Brunnen 59680:
74,00 m bis 90,00 m: feinsandiger bis toniger Schluff

Die Brunnen 5960 (389 m ü. A.), 5964 (393 m ü. A.), 5966 (357 m ü. A.) und 59680 (333 m ü. A.) werden als Beobachtungsmessstelle verwendet. Für den Brunnen 5960 liegen Messdaten von 23.12.2003 bis 26.01.2015, für den Brunnen 5964 von 23.12.2003 bis 26.01.2015, für den Brunnen 5966 vom 02.01.2005 bis 16.04.2015 und Brunnen 59680 vom 30.09.2003 bis 17.05.2015 vor. Die Bohrprofile sind im Anhang dargestellt. Das Bohrprofil des Brunnens 5960 (Stambachstraße 140, 8232 Grafendorf bei Hartberg) steht nicht zur Verfügung, aber es ist ein Bohrprofil mit 300 m Luftlinie Entfernung (Stambachstraße 236, 8232 Grafendorf bei Hartberg) vorhanden (Abbildung_Anhang 11). Der Brunnen 5964 (Oberlisstraße 133, 8232 Seibersdorf am Hammerwald) hat ebenfalls kein Bohrprofil, allerdings befinden sich in nur 145 m Luftlinie Entfernung 2 Bohrprofile (Abbildung_Anhang 6, Abbildung_Anhang 7). Das Bohrprofil des Brunnens 5966 ist nicht vorhanden, das angefügte Bohrprofil sollte eines in der Nähe des Brunnens 5966 sein (Abbildung_Anhang 12). Das Bohrprofil des Brunnens 59680 ist vorhanden (Tabelle 4) (Abbildung_Anhang 13).

Bei der Herstellung des „Arteser Grafendorf III“ wurden 4 Bohrungen niedergebracht um jeden einzelnen Horizont separat erschließen zu können. Die Ergiebigkeit des 3. Horizonts erwies sich als höchste, weshalb auch der „Arteser Grafendorf III“ als Förderbrunnen ausgebaut wurde. Der Brunnen wird zu 2/3 für die Wasserversorgung von Hartberg und zu 1/3 für die Wasserversorgung von Grafendorf bei Hartberg verwendet. Es liegen vom 1.6.2012 bis 11.02.2014 brauchbare Messdaten vor. Das Filterrohr erstreckt sich von 70,10 bis 88,10 m und erfasst einen Horizont aus verschiedenen Bestandteilen. (Abbildung_Anhang 10) Der Tiefe des 3. artesischen Horizonts dieser Bohrung stimmt mit den 2 tiefen Bohrungen von Grafendorf von 1969, die zuvor beschrieben wurden, überein (Tabelle 4).

Die Aufbereitung der Messdaten des Brunnens „Arteser Grafendorf III“ gestaltete sich schwierig, deshalb muss in weiterer Folge näher auf die Messdaten des Brunnens eingegangen werden. Das Manometer und die Sonde des Brunnens sowie das Membranventil haben während der Messungen einen Umbau erfahren. Das Membranventil musste ebenfalls des Öfteren nachjustiert werden.

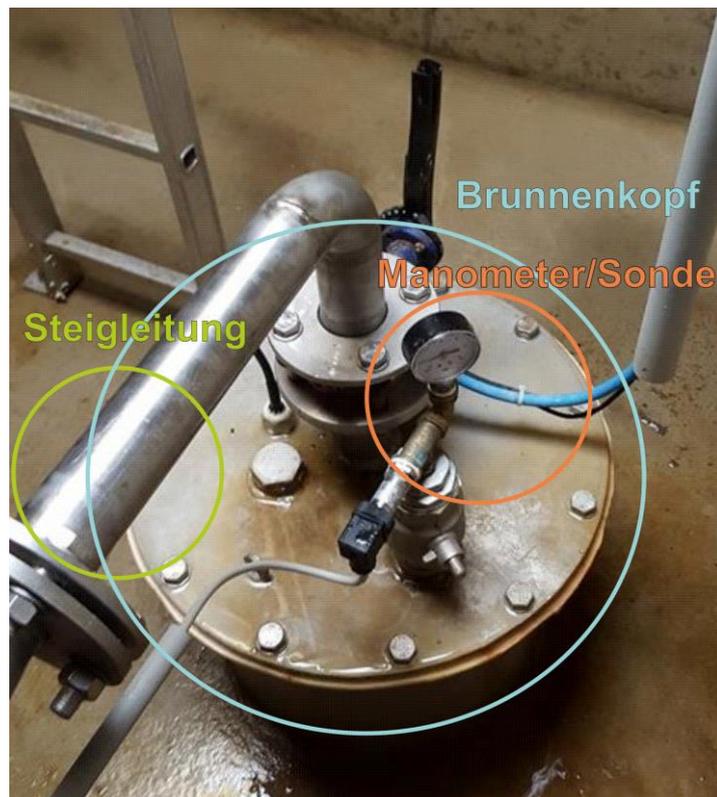


Abbildung 7: Brunnenkopf des Brunnens „Arteser Grafendorf III“ (hellblauer Kreis). Die Steigleitung ist in grün markiert. Das Manometer sowie die Drucksonde sind mit orange markiert.

Zu Beginn befanden sich das Membranventil sowie das Manometer und die Sonde auf der Steigleitung (Abbildung 7), wobei das Membranventil direkt vor dem Manometer und der Sonde montiert war und diese Werte deshalb unbrauchbar sind. Das Membranventil wurde dann am 21.03.2012 vom Brunnenschacht in den Tiefbrunnen versetzt und musste dementsprechend wieder richtig eingestellt werden. Aus diesem Grund gibt es erst ab dem 01.06.2012 brauchbare Messdaten.

Bis zum 10.11.2014 befindet sich das Manometer also noch auf der Steigleitung, während das Membranventil bereits im Brunnen angebracht ist. In diesem Zeitraum ist der Druck bei etwa 4 bar, wenn die Pumpe eingeschaltet ist. Der Grund dafür ist, dass der Druck in der Steigleitung dann ansteigt, weil mehr Wasser durchfließt und die Sonde diesen Druck aufzeichnet. Der Normaldruck lag in etwa bei 1,43 und 1,52 bar.

Ab dem 11.11.2014 werden das Manometer und die Sonde von der Steigleitung auf den Brunnenkopf montiert. Ab diesem Zeitpunkt werden ein anderer Normaldruck sowie Druck bei Pumpaktivität aufgezeichnet (Abbildung 7). Wenn gepumpt wird, lässt der Druck im Brunnen nach, weshalb jetzt die Werte, die ca. unter 1,25 bar liegen, eindeutig zur Pumpphase gehören.

Das Membranventil wird dazu benötigt die maximal erlaubte Förderrate zu erreichen und beizubehalten. Es dürfen max. 4,00 l/s gepumpt werden, daher wird versucht genau auf diese 4,00 l/s zu kommen. Da es aber zu Schwankungen kommen kann, ist das Membranventil eingebaut. Wenn bspw. 3,50 l/s gefördert werden, wird das Membranventil aufgeschraubt, damit mehr Wasser durchkommen kann, dadurch werden die 4,00 l/s erreicht und der Druck wird geringer.

Datengrundlagen zu den Brunnen für die Pumpversuchsauswertung

In dieser Masterarbeit werden ebenfalls verschiedene Bohrungen verwendet um anhand von Pumpversuchen die hydraulischen Eigenschaften des gesamten Aquifersystems einschätzen zu können. Die Ergebnisse sollen einen allgemeinen Einblick in das Aquifersystem geben. Auch ist es interessant zu analysieren, inwiefern die hydraulischen Eigenschaften der Aquifere verschiedener Regionen sich ähneln. Es stehen Daten von 12 verschiedenen Bohrungen zur Verfügung, die unterschiedliche Lagen, Tiefen und wasserführende Horizonte aufweisen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Bohrungen an denen Pumpversuche durchgeführt wurden, deren Tiefe der Filterrohrstrecke, Seehöhe, Seehöhe der wasserführenden Schicht sowie die Endtiefe.

Name der Bohrung	Filterrohr	Seehöhe d. Brunnen	Seehöhe d. wasserführenden Schicht	Endtiefe
Grosshart	171,00 – 181,00 m (10,00 m)	408,70 m ü. A.	237,70 – 227,7 m ü. A.	200,00 m
	188,00 – 195,00 m (7,00 m)			
Kaindorf Kopfung I	58,00 m – 60,00 m (2,00 m)	318,10 m ü. A.	260,10 – 258,10 m ü. A.	150,00 m
	64,00 – 68,00 m (4,00 m)			
Kaindorf Kopfung II	16,00 – 26,00 m (10,00 m)	317,90 m ü. A.	303,90 – 291,90 m ü. A.	30,00 m
Kaindorf Kopfung III	30,00 – 34,00 m (4 m)	328,00 m ü. A.	298,00 – 294,00 m ü. A.	83,00 m
	38,50 – 42,50 m (4,00 m)		289,50 – 285,50 m ü. A.	
	51,50 – 55,50 m (4,00 m)		276,50 – 272,50 m ü. A.	
	60,00 – 64,00 m (4,00 m)		268,00 – 264,00 m ü. A.	
	77,50 – 81,50 m (4,00 m)		250,50 – 246,50 m ü. A.	
Markt Hartmannsdorf	20,00 bis 51,00 m (31,00 m)	334,70 m ü. A.	314,70 – 283,70 m ü. A.	55,00 m
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 1	unbekannt (Absenkung 9,00 m) (Ruhewasserspiegel: 0,60 m)	329,90 m ü. A.	< 319,95 m ü. A. (unbekannt)	9,95 m
Sinabelkirchen/Egelsdorf	unbekannt (Absenkung: 11,00	328,70 m ü. A.	< 305,90 m ü. A.	22,80 m

Br. 2	m) (Ruhewasserspiegel: 2,22 m)		(unbekannt)	
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 3	unbekannt (Absenkung: 10,00 m) (Ruhewasserspiegel: 1,88 m)	328,30 m ü. A.	< 314,68 m ü. A. (unbekannt)	13,62 m
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 4	unbekannt (Absenkung: 14,00 m) (Ruhewasserspiegel: 5,49 m)	323,60 m ü. A.	< 305,98 m ü. A. (unbekannt)	20,62 m
Sinabelkirchen/Gnies	38,00 – 46,00 m (8,00 m)	302,30 m ü. A.	264,30 – 256,30 m ü. A.	50,00 m
Unterrohr	128,00 – 140,00 m (12,00 m)	331,70 m ü. A.	203,70 – 191,70 m ü. A.	200,00 m
Urscha	75,50 – 79,50 m (4,00 m)	382,30 m ü. A.	306,80 – 302,80 m ü. A.	85,00 m

Die wasserführenden Schichten der 12 Bohrungen weisen folgende Zusammensetzungen auf:

- Grosshart
171,00 m bis 181,00 m: schluffig, tonig, Sandstein mit sandig-kiesigen Zwischenlagen mit einer locker-festen Konsistenz
188,00 m bis 195,00 m: Quarzkristallin, sandig bis schluffig mit festen bis harten Konsistenz
- Kaindorf Kopfung I
50,00 m bis 51,50 m: Schluffige Fein- bis Mittelsande
55,50 m bis 58,50 m: Schluffige Fein- bis Mittelsande
62,50 m bis 64,00 m: Schluffige Fein- bis Mittelsande
64,00 m bis 68,00 m: Schluffige Grobsande bis Feinkiese
- Kaindorf Kopfung II:
16,00 m bis 26,00 m: sandiger Fein- bis Mittelkies
- Kaindorf Kopfung III:
18,50 m bis 20,50 m: schluffige Sande
24,00 m bis 25,50 m: kiesige Sande
33,00 m bis 34,00 m: Sande
39,50 m bis 40,50 m: Kiese
46,00 m bis 48,00 m: schluffige Sande
53,00 m bis 56,00 m: schwach schluffige, kiesige Sande
61,50 m bis 64,00 m: sandige Kiese
71,00 m bis 74,00 m: schluffige Sande
79,00 m bis 80,50 m: Kiese
- Markt Hartmannsdorf:
9,00 m bis 20,50 m Schluff, Ton, graubraun, Steine, Kies
20,50 m bis 26,80 m Schluff, Ton, grau, Sandsteineinlagen
28,50 m bis 36,00 m Schluff, Ton, grau, Sandsteineinlagen, hart
36,00 m bis 46,50 m Schluff, Ton, grau, Sandsteineinlagen, sehr hart

46,50 m bis 51,00 m Schluff, leicht tonig, grau, Kies
51,00 m bis 54,20 m Schluff, leicht tonig, grau, Kies, Sand
54,20 m bis 55,70 m Schluff, grau, Ton

▪ Sinabelkirchen/Egelsdorf:

Br. 1, Br. 2 und Br. 3: Tiefe des wasserführenden Horizonts unbekannt, tertiäre Sande mit tlw. Einschaltungen von Sanden in Form von Linsen

Br. 4: Tiefe des wasserführenden Horizonts unbekannt, höherer Anteil an Sandkomponenten als in den restlichen Br. 1, 2 und 3

▪ Sinabelkirchen/Gnies:

▪ 37,50 m bis 46,00 m: sandiger Fein- bis Mittelkies

▪ Unterrohr:

128,00 m bis 140,00 m: grob- bis mittelgelagerte, sandige Feinkiese

▪ Urscha

76,80 m bis 77,70 m: Sand mit einzelnen Kieskörnern

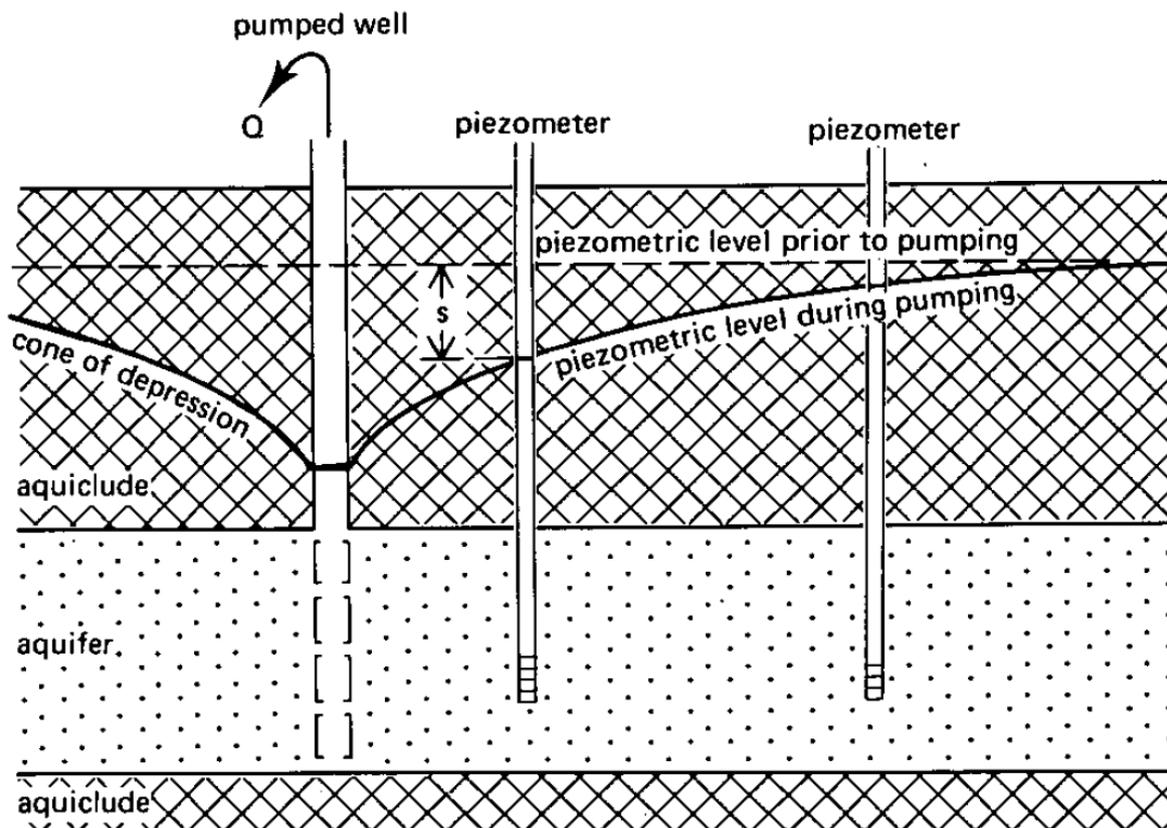
79,00 m bis 79,80 m: feinkiesiger Mittel bis Feinsand

5. METHODIK

AUSWERTUNG VON PUMPVERSUCHSDATEN

Allgemeines zu Pumpversuchen und deren Auswertung

Um zu bestimmen, ob genug Grundwasser zur Trinkwasserversorgung zur Verfügung steht, können Pumpversuche eine große Hilfe leisten (Langguth & Voigt, 2004). Im Grunde genommen wird bei einem Pumpversuch konstant Wasser von einem Brunnen entnommen und der Grundwasserspiegel sowie die Durchflussmenge beobachtet (Kruseman & de Ridder, 2000). Dabei werden in bestimmten Zeitabständen die Absenkung und der Wiederanstieg des Grundwasserspiegels im Brunnen aufgezeichnet. Als Beobachtungsbrunnen kann der Pumpbrunnen und/oder ein oder mehrere Beobachtungsbrunnen in näherer Umgebung verwendet werden, wo dann ebenfalls in gewissen Zeitabständen Abstichmessungen erfolgen (Abbildung 8). Mit Pumpversuchen können hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters sowie Leistungscharakteristik bzw. Brunneneintrittsverluste eines Förderbrunnens berechnet werden (Langguth & Voigt, 2004). Es gibt gespannte, halbgespannte und ungespannte Grundwasserleiter (Kruseman & de Ridder, 2000). Bei den in dieser Arbeit behandelten Grundwasserleitern handelt es sich um gespannte Grundwasserleiter. Ausführliche Beschreibungen zu den Grundwasserleitertypen finden sich in Kruseman & de Ridder, 2000.



s = drawdown of piezometric level

Abbildung 8: Absenkungstrichter (cone of depression) in einem Pumpbrunnen mit 2 Beobachtungsbrunnen (piezometer) und der darin messbaren Absenkung (s) in einem gespannten Grundwasserleiter. Der Grundwasserspiegel vor dem Pumpen (piezometric level prior to pumping) und nach dem Pumpen (piezometric level during pumping) sind in der Abbildung dargestellt. Q ist die Schüttung, Aquiclude ist ein Grundwassernichtleiter. (Kruseman & de Ridder, 2000).

Nachdem die Daten der Pumpversuche ausgewertet wurden, kann der Grundwasserleitertyp eingeschätzt werden. In den sind Typische Kurvenverläufe für die bestimmten Arten von Grundwasserleitern sind vorhanden (Abbildung 9, Abbildung 10). Es können sowohl semi-log als auch log-log Plots, wo Absenkung und Zeit seit Pumpbeginn gegenüber gestellt sind, für die Bestimmung des Grundwasserleiters verwendet werden. Es wird dabei zwischen unverfestigten Grundwasserleitern (Abbildung 9) und verfestigt zerklüfteten Grundwasserleitern (Abbildung 10) unterschieden, wobei in beiden Fällen gespannte, ungespannte oder halbgespannte Grundwasserleiter vorliegen können. A und A' der Abbildung 9 ist ein Diagramm, das Absenkung und Zeit eines vollkommen durchdringenden Brunnens mit einem kleinen Brunnendurchmesser darstellt. A' stellt ein Diagramm mit Absenkung und Zeit eines gespannten, unverfestigten, homogenen sowie isotropen Grundwasserleiters dar, da in der frühen Pumpphase die Kurve (Zeit gegen Absenkung) nicht linear ist, allerdings wird nach einer bestimmten Zeit ein linearer Verlauf sichtbar.

Ein Beispiel für einen Fall einer verspäteten „Entleerung“ für einen ungespannten, homogenen sowie isotropen Aquifer, der lateral unendlich ist, zeigt B und B' (Abbildung 9). Zu Beginn des Pumpversuchs sieht der Kurvenverlauf von B genauso aus wie der von A. Etwa nach der Hälfte der Zeit kommt es zu einer Abflachung der Kurve, was durch die Grundwasseranreicherung aus dem hangendem, weniger permeablen Aquifer, bedingt ist. Zum Ende des Pumpversuchs ähnelt der Kurvenverlauf erneut dem der Abbildung 9 A. Ein halbgespannter Aquifer, C und C' (Abbildung 3), zeigt in der frühen Phase des Pumpversuchs einen ähnlichen Verlauf wie A und A'. Ab der Hälfte der Zeit des Pumpversuchs erreicht mehr und mehr Wasser aus der halbdurchlässigen Schicht (oder den halbdurchlässigen Schichten) den Aquifer. Das gesamte abgepumpte Wasser ist durch Zusickerung der halbdurchlässigen Schicht am Ende der Pumpphase bedingt und es kommt zu einem stationären Zustand. Ein gespannter, dicht zerklüfteter, verfestigter Aquifer mit Doppelporosität ist in A und A' (Abbildung 10) dargestellt. Es sind 2 Systeme zu erkennen und zwar zum einen Klüfte mit hoher Permeabilität und geringer Speicherkapazität, zum anderen die „matrix blocks“ mit niedriger Permeabilität und hoher Speicherkapazität. Das gesamte Wasser, das zum Brunnen hinfließt, kommt aus den Klüften und ist sowohl radial als auch in einem instationären Zustand. Das Wasser aus den „matrix blocks“, das in die Klüfte fließt, erzeugt einen pseudo-stationären Zustand (Kruseman & de Ridder, 2000). Es können 3 Zeitphasen während des Pumpversuchs differenziert werden (Kruseman & de Ridder, 2000):

- Die anfängliche Zeit ist charakterisiert durch aus den Klüften kommendem Wasser.
- In der Hälfte der Zeit kommt es zu einem sogenannten Übergang, d.h. das Wasser wird nun mit steigender Geschwindigkeit von den „matrix blocks“ in die Klüfte geliefert, was zu einer stabilisierten Absenkung führt.
- Zum Ende hin wird das Wasser sowohl aus den Klüften als auch aus den „matrix blocks“ geliefert.
-

A und A' (Abbildung 10) zeigen denselben Kurvenverlauf von B und B' (Abbildung 9) im Hinblick auf den Aquifer, d.h. ungespannt, unverfestigt und mit verspäteter „Entleerung“.

B und B' beziehen sich auf einen Brunnen dem das Wasser von einer vertikalen Kluft in einem ungespannten, homogenen und isotropen Aquifer mit geringer Permeabilität entzogen wird. Es handelt sich hierbei um eine begrenzte Länge und eine hohe hydraulische Leitfähigkeit. Anfänglich repräsentiert eine Gerade mit einem Winkel von

0,5° in einem log-log Plot die frühe Pumpphase, weil ein horizontales, paralleles und zur Kluft senkrecht Fließsystem vorherrschend ist. Dieses Fließsystem ändert sich graduell bis zum Ende der Pumpphase, wo es pseudo-radial wird. Der Kurvenverlauf ähnelt dabei dem von A und A' (Abbildung 9).

Ein dicht zerklüftetes, hoch permeabler „dyke“ mit unendlicher Länge und begrenzter Breite in einem gespannten, homogenen, isotropen, verfestigten Aquifer mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit und Speicherkapazität wird in C und C' (Abbildung 10) repräsentiert. Kennzeichnend sind hierbei die 2 geradlinigen Abschnitte mit einem Winkel von 0,5°, die durch eine einzige, vertikale und planare Kluft, wie auch schon in B (Abbildung 10) abgebildet, gegeben sind (Kruseman & de Ridder, 2000).

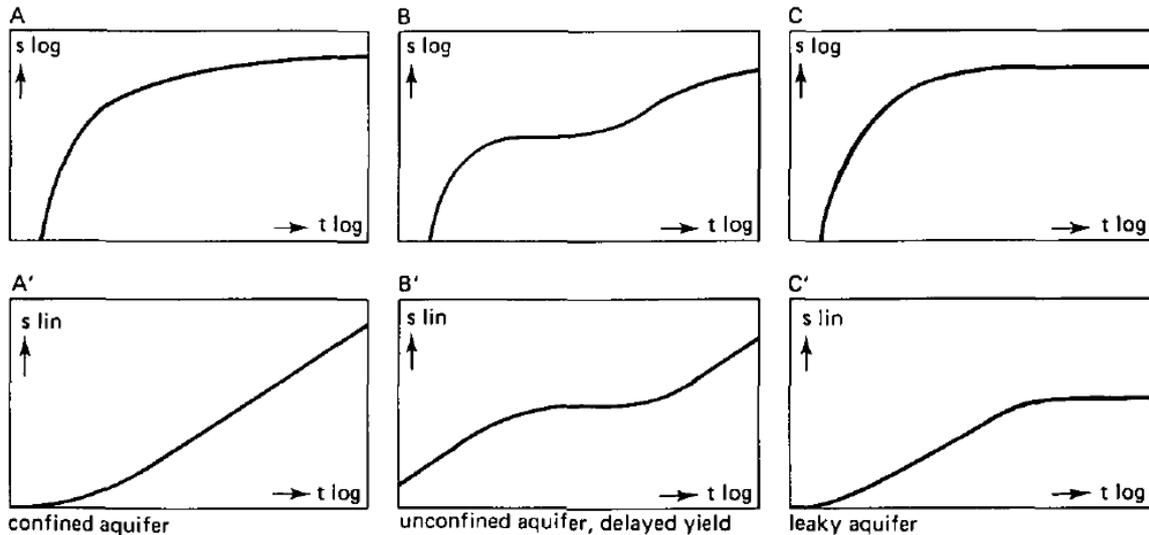


Abbildung 9: Beispiele für typische Kurvenverläufe der Zeit-Absenkungsdarstellung von unverfestigten Aquiferen in log-log und semi-log Plots. A und A': Gespannter Aquifer, B und B': Ungespannter Aquifer mit verzögerter Entleerung, C und C': Halbgespannter Aquifer (Kruseman & de Ridder, 2000).

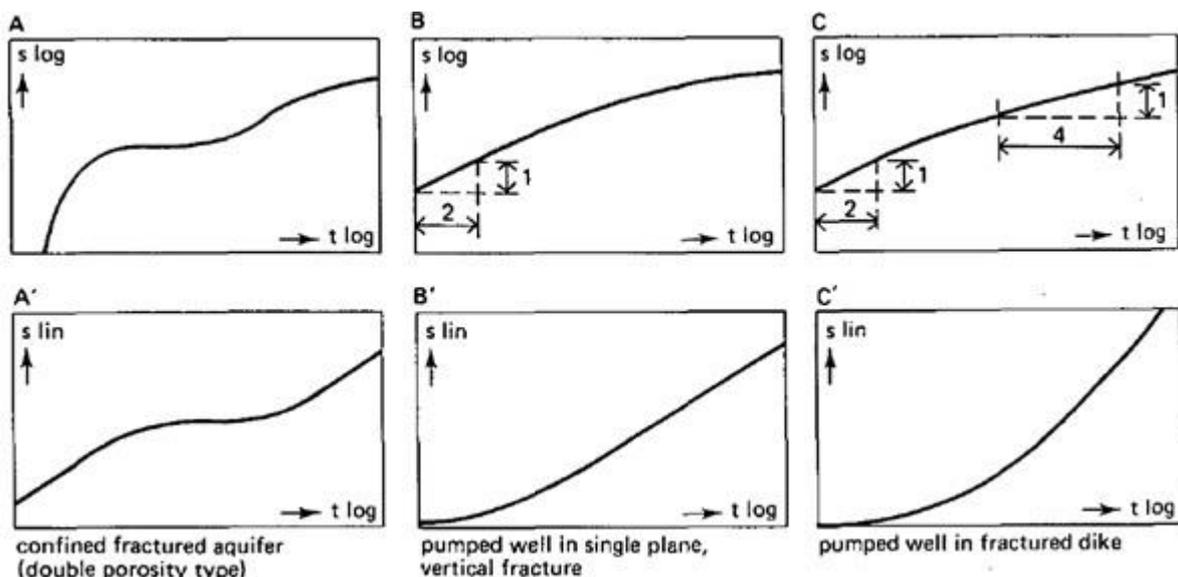


Abbildung 10: Beispiele für typische Kurvenverläufe der Zeit-Absenkungsdarstellung von verfestigten Aquiferen in log-log und semi-log Plots. A und A': Gespannter Aquifer mit Doppelporosität, B und B': eine einzelne vertikale Kluft, C und C': durchlässiger „dyke“ in einem ansonsten schlecht durchlässigen Aquifer (Kruseman & de Ridder, 2000).

Randbedingungen

Kommt es bei der Auswertung zu einer Abweichung von den theoretischen Kurvenverläufen, so können spezifische Grenzbedingungen, wie bspw. kein vollkommener Brunnen, Brunnenspeicherung, Grundwasseranreicherungsgrenze oder undurchlässige Grenzen (Barrieren), der Grund sein. Diese Grenzbedingungen können teilweise miteinander oder alleine und in allen Aquifertypen auftreten (Kruseman & de Ridder, 2000). In dieser Arbeit werden die unverfestigten, gespannten Aquifere behandelt.

- **Brunnenspeicherung:**
Je nach Brunnendurchmesser wird mehr oder weniger Wasser gespeichert, d.h. bei größerem Brunnendurchmesser wird mehr Wasser gespeichert und die Abweichung des Kurvenverlaufs von der theoretischen Kurve ist umso größer. Normalerweise wird dieses Wasser am Pumpbeginn entfernt und kann je nach Menge zwischen ein paar Minuten und mehreren Minuten dauern. In Abbildung A und A' (Abbildung 11) ist bspw. die stärkere Abweichung zu Beginn und die spätere Anpassung des Kurvenverlaufs von einer Zeit-Absenkungskurve eines Beobachtungsbrunnens erkennbar.
- **Grundwasseranreicherungsgrenze oder undurchlässige Grenze:**
Wenn der Absenkungstrichter eine Grundwasseranreicherungsgrenze erreicht, sieht der Kurvenverlauf wie bei A und A' (Abbildung 12) aus. Folglich ist die Absenkung dann stabil. Im Gegensatz zur Grundwasseranreicherungsgrenze hat eine undurchlässige Schicht die gegenteilige Wirkung auf den Kurvenverlauf. B und B' (Abbildung 12) stellt die Auswirkung einer undurchlässigen Grenze dar, und zwar weicht die Linie nach oben hin ab.

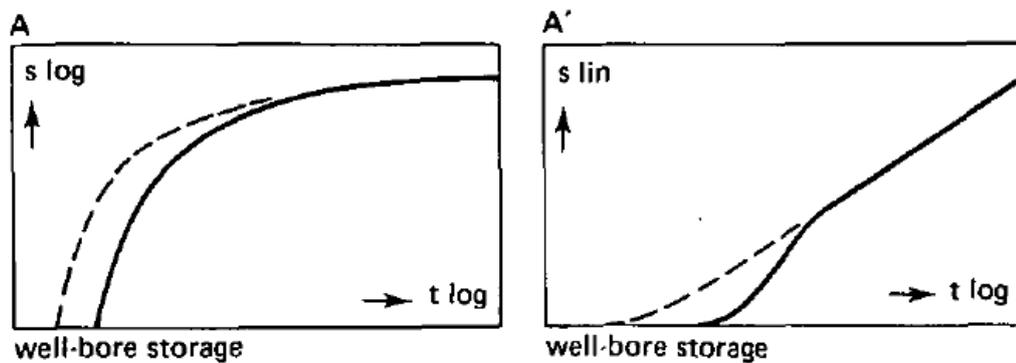


Abbildung 11: Die Auswirkung der Brunnenspeicherung des abgepumpten Brunnens auf die Zeit-Absenkungskurve. Die gestrichelten Kurven sind die Bereiche von A und A' der Abbildung 9 (Kruseman & de Ridder, 2000).

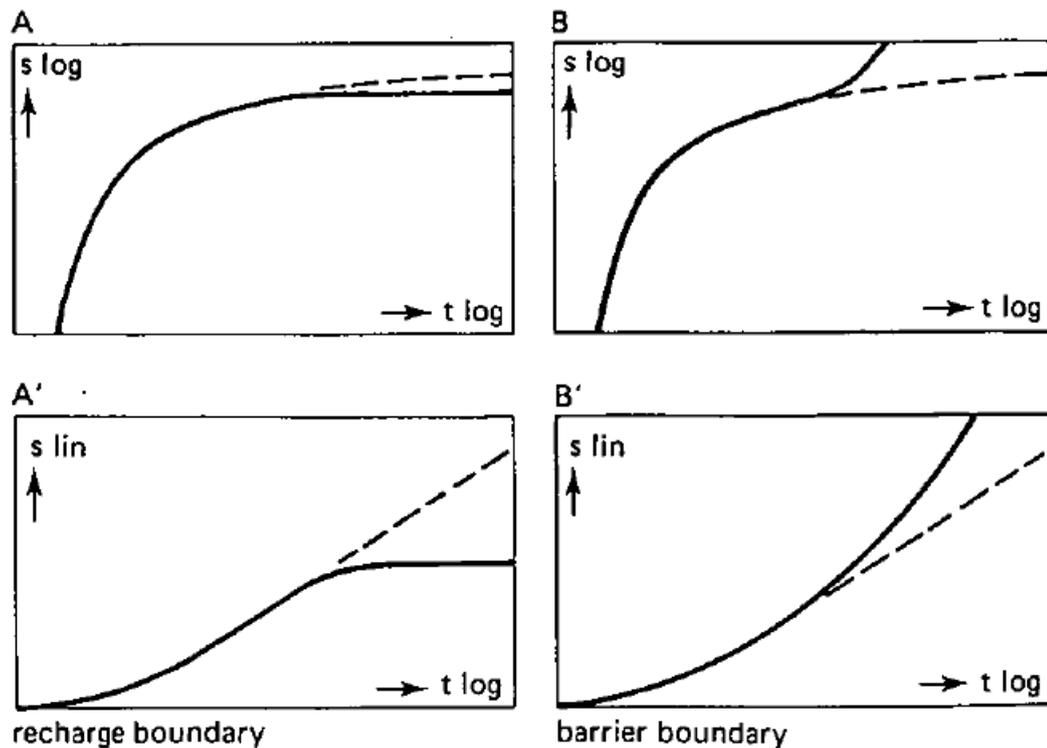


Abbildung 12: Die Auswirkung einer Grundwasseranreicherung (Bereich A und A') und einer undurchlässigen Grenze (Bereich B und B') auf die Zeit-Absenkungskurve in einem gespannten, unverfestigten Aquifer. Die gestrichelten Kurven sind die Bereiche von A und A' der Abbildung 9 (Kruseman & de Ridder, 2000).

Neben der Brunnenspeicherung stellt der Skineffekt einen weiteren Brunnenstöreffekt dar. Der Skineffekt beschreibt die hydraulische Ankopplung eines Brunnens an den umgebenden Aquifer. Durch den Ausbau und Betrieb eines Brunnens kommt es zu Änderungen der geohydraulischen Eigenschaften des erbohrten Aquifers. Der Skineffekt ist proportional zur Förderleistung eines Brunnens und hat einen zeitunabhängigen und konstanten hydraulischen Druckverlust bei der Absenkung bzw. einen zeitunabhängigen und konstanten hydraulischen Druckaufbau beim Wiederanstieg zur Folge. Angegeben wird der Skineffekt mit dem dimensionslosen Skinfaktor S_F (Hölting & Coldewey, 2013).

Im Buch „Strömungsverhalten in Festgesteinsaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen“ von Stober, 1986 sind neben den Abbildungsbeispielen zu Absenkungen auch Abbildungsbeispiele zu Wiederanstiegen von Pumpversuchen dargestellt (Abbildung 13). Die in weiterer Folge angeführten Beispiele kommen in der Pumpversuchsauswertung dieser Arbeit vor. Es sind typische Kurvenverläufe im Falle einer Staugrenze dargestellt (Abbildung 13.1.a-d). Dabei wird zw. Staugrenzen wie dichten Talrändern oder Anreicherungsgrenzen wie infiltrierende Gewässer unterschieden. Bei Staugrenzen kommt es zu einer größeren Absenkung und bei Anreicherungsgrenzen zu einer kleineren Absenkung.

Brunnenspezifische Einflüsse beeinflussen den Absenkungsverlauf in einem Brunnen aufgrund des Anschlusses an den Aquifer (Vollkommenheitsgrad oder Skineffekt) und des Brunnenbaus (Eigenkapazität od. Brunnenspeicherung) (Abbildung 13.2.a-d).

Auch besteht die Möglichkeit eines „Zwei-Porositätsmodells“ (Abbildung 13.5.a-d). Hier handelt es sich um einen Aquifer mit 2 verschiedenen porösen Bereichen, der Kluft- und Matrixporosität. Zu Beginn des Pumpversuchs wird das Wasser aus den Klüften entnommen, daraufhin folgt die Reaktion der Matrix. In der Halblogarithmischen Darstellung der Absenkungskurve sind 2 parallele Gerade mit einer Horizontalen

verbunden (Abbildung 13.5.c). Aus den beiden Geraden wird die Transmissivität und aus der 1. Steigung der Speicherkoeffizient errechnet. Die Horizontale ist ein Maß für die Speichermöglichkeit der Klüfte und des Gesamtsystems (Stober, 1986).

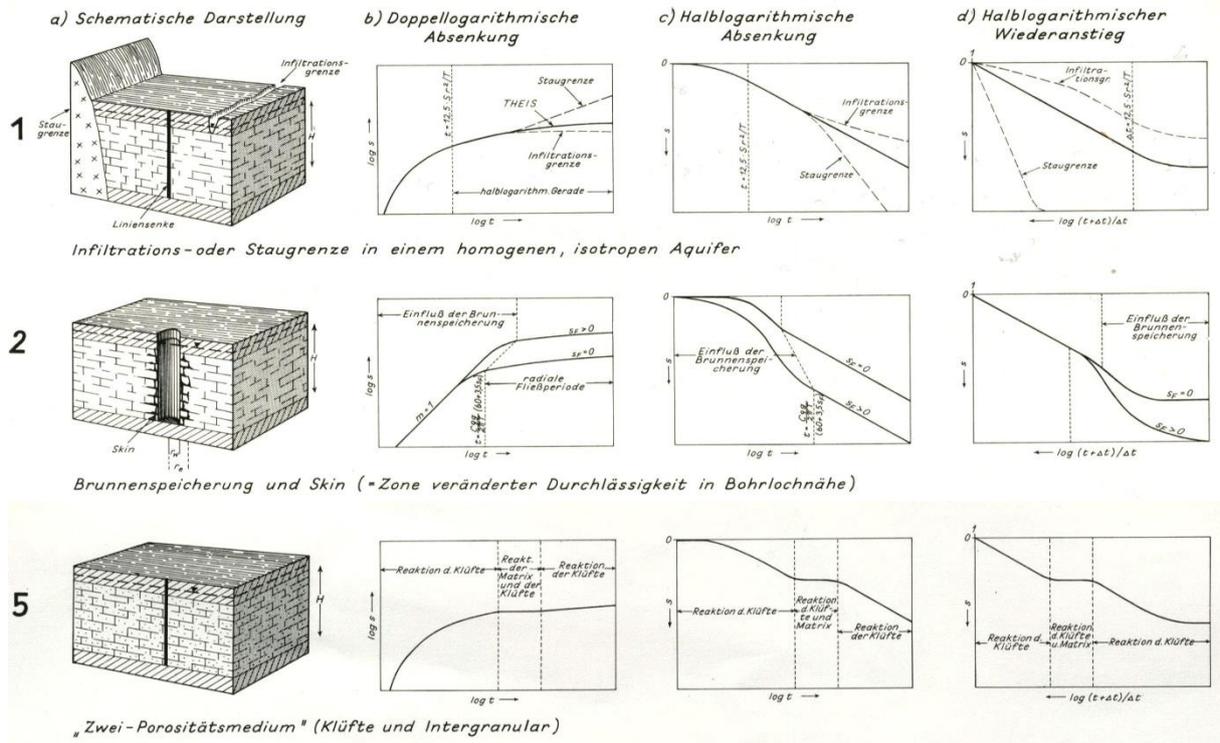


Abbildung 13: Brunnen- und aquiferspezifische Einflüsse auf den Absenkungs- bzw. Wiederanstiegsvorgang in Brunnen (Stober, 1986).

AUSWERTEMETHODEN FÜR PUMPVERSUCHE

Bei einem Pumpversuch in einem vollkommenen Brunnen, der einen gespannten Grundwasserleiter erfasst, kommt es zu einer radialen Ausdehnung des Grundwassers um den Brunnen herum (Absenkungstrichter). Das gesamte Wasser wird vom Speicher innerhalb des Aquifers entnommen. Stationäres und instationäres Fließen sind dabei 2 Arten von Fließzuständen, die auftreten können (Kruseman & de Ridder, 2000). Sobald der Pumpversuch beendet wird, füllt sich der Absenkungstrichter wieder auf. Der Grundwasserspiegel im Brunnen steigt dementsprechend wieder an und wird mit dem Ausgangsgrundwasserstand verglichen. Nach einem instationären Zustand, kann ein stationärer Zustand auftreten, d.h. der Absenkungstrichter bleibt in allen Richtungen gleich. Tritt dieser Beharrungszustand ein, fördert der Brunnen nur noch Wasser, das seitlich, von oben oder unten her von außen zugeführt wird. Also ist die Zustromrate gleich groß wie die Förderrate. Im instationären Zustand ist das Gegenteil der Fall, denn Zustrom- und Förderrate sind ungleich groß (Langguth & Voigt, 2004).

Folgende Annahmen und Bedingungen werden für gespannte Aquifere vorausgesetzt (Kruseman & de Ridder, 2000):

- Der Aquifer ist gespannt
- Der Aquifer hat scheinbar eine unendliche Ausdehnung
- Der Aquifer ist homogen, isotrop und weist im Bereich des Absenkungstrichters eine gleiche Mächtigkeit auf
- Vor dem Pumpversuch ist im vom Pumpversuch beeinflussten Bereich der gespannte Grundwasserspiegel horizontal (oder beinahe horizontal)
- Die Förderrate bleibt während dem Pumpversuch konstant
- Der Brunnen durchdringt den gesamten Aquifer, somit ist die Strömung um den Brunnen horizontal

Zusätzlich für instationäre Zustände gilt (Kruseman & de Ridder, 2000):

- Das vom Speicher entfernte Wasser wird sofort mit dem Fallen des Druckspiegels abgelassen
- Ist der Brunnendurchmesser klein, ist bspw. die Wassermenge im Brunnen selbst vernachlässigbar

In dieser Arbeit werden die Methoden für instationäre Strömungsverhältnisse vorgestellt.

Verfahren nach Theis

Die Theis Gleichung beschreibt instationäres Fließen zu einem vollkommenen Brunnen in einem gespannten Aquifer. Mit dieser Gleichung können Transmissivität und Speichervermögen ohne Absenkungsstabilität bestimmt werden. Im Gegensatz zu stationären Pumpversuchen, wo mind. 2 Beobachtungsbrunnen benötigt werden, reicht bei instationären nur ein Beobachtungsbrunnen (Krešić, 2007). Mehrere Lehrbücher gehen auf diese Thematik ein, in folgendem Abschnitt werden die Formeln nach Krešić, 2007 erläutert. Die Absenkung wird angegeben als (Krešić, 2007):

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u) \quad \text{Formel 1}$$

s = Absenkung, gemessen in einem bestimmten Abstand r vom Pumpbrunnen (m)
 Q = die Pumprate, die beim Pumpen konstant gehalten wird (m^3/s)
 T = die Transmissivität (m^2/s)
 $W(u)$ = die Brunnenfunktion in Abhängigkeit von (u) (auch Theisfunktion genannt)

Der dimensionslose Parameter u wird auch wie folgt angegeben (Krešić, 2007):

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t} \quad \text{Formel 2}$$

r = Distanz vom Pumpbrunnen, wo die Absenkung aufgezeichnet wird (m)
 S = Speicherkoeffizient
 t = Zeit seit Pumpbeginn (s)

Die Brunnenfunktion von $W(u)$ kann durch das Exponentialintegral ausgedrückt werden (Krešić, 2007):

$$W(u) = -E(-u) = -\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{Formel 3}$$

E = Exponentialintegral
 Das Exponentialintegral entspricht einer konvergenten Reihe (Krešić, 2007):

$$W(u) = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots \quad \text{Formel 4}$$

Eulerische Konstante = 0,5772

Oder als (Krešić, 2007):

$$W(u) = \ln \frac{0,5615}{u} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{u^n}{n \cdot n!} \quad \text{Formel 5}$$

Die Brunnenfunktion $W(u)$ und dessen Argument u stehen jeweils für eine dimensionslose Absenkung und eine dimensionslose Zeit. Die ausgewählten Werte von u bzw. $\frac{1}{u}$ (bzgl. $W(u)$), die mit der Formel 4 berechnet wurden, sind in einer Tabelle im Anhang aufgelistet (Kruseman & de Ridder, 2000) (Abbildung_Anhang 9).

Die Tabelle wird wie folgt angewandt; Für das berechnete u wird eine Zahl N zwischen 1,0 und 9,0 ausgewählt und mit 10^{Exponent} multipliziert. Für den ausgewählten Wert wird dann in der richtigen Zeile und Spalte der Wert für $W(u)$ abgelesen. Ist der Wert bspw. $u = 0,000012$, so liest sich in der Tabelle der Spalte von N der Wert von 1,2 und der dazugehörige Wert der Spalte $N(-5)$ (also $N \cdot 10^{-5}$) ab. Das Ergebnis lautet schließlich:

$u = 2 \cdot 10^{-5} \rightarrow W(u) = 1,075(1)$, d.h. von der Grafik abgelesen $1,024 \cdot 10^1$.

So geht man auch mit dem Wert von $\frac{1}{u}$ vor, hier wird eine Zahl n zwischen 1 und 1,111 ausgewählt (Langguth & Voigt, 2004). Mit Formel 1 und Formel 2 ist es möglich die Transmissivität T und den Speicherkoeffizienten S zu berechnen. Dafür müssen allerdings die Absenkung s in einem Abstand r , Zeit t und die Entnahmerate Q bekannt sein. Sind 2 unbekannte Variablen vorhanden, können T und S nicht berechnet werden, daher kann die graphische Darstellung in Theis-Typenkurven angewendet werden

(Kruseman & de Ridder, 2000). Hierbei werden Formel 1 und Formel 2 wie folgt logarithmiert (Kruseman & de Ridder, 2000):

$$\log s = \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T}\right) + \log(W(u)) \quad \text{Formel 6}$$

$$\log\left(\frac{r^2}{t}\right) = \log\left(\frac{4 \cdot T}{S}\right) + \log(u) \quad \text{Formel 7}$$

Geradlinienverfahren bzw. Zeit-Absenkungsverfahren nach Cooper und Jacob (1946)

Die Cooper & Jacob Methode (1946) basiert auf der Theis Formel 1 (Kruseman & de Ridder, 2000). Unter der Annahme, dass die Porendranung unwesentlich ist, kann Formel 1 vereinfacht werden (Hölting & Coldewey, 2013). Daher dürfen die Reihenglieder aus Formel 4 ($u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$) vernachlässigt werden, da ihre Summe gegen Null geht. Somit folgt die Formel (Kruseman & de Ridder, 2000):

$$W(u) = -0,5772 - \ln u = \ln 0,5615 - \ln u \quad \text{Formel 8}$$

$$W(u) = \ln \frac{0,5615}{u} \quad \text{Formel 9}$$

Wenn $\frac{r^2}{t}$ im Verhältnis zu $\frac{S}{4 \cdot T}$ sehr klein ist, kann u mit $\frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$ ersetzt werden (Langguth & Voigt, 2004). Der Wert von u wird umso kleiner je höher die Pumpzeit t ist oder je kleiner der Abstand r vom Pumpbrunnen ist. Wenn für u ein Wert von jeweils 0,03, 0,05, 0,1 oder 0,15 gegeben ist, ergeben sich jeweils Fehler von 1 %, 2 %, 5 % oder 10 % (Kruseman & de Ridder, 2000). Laut Krešić, 2007 sollte der Wert von $u \leq 0,05$ sein, um die vereinfachte Formel anwenden zu können. Laut Langguth & Voigt, 2004 sollte der Wert für u sogar nur bei $\leq 0,02$ sein. Laut Kruseman & de Ridder, 2000 kann der Wert bei $< 0,1$ liegen. Formel 11 kann nun so umgeschrieben werden, dass u durch $\frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$ ersetzt wird (Krešić, 2007):

$$W(u) = \ln \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S} \quad \text{Formel 10}$$

In weiterer Folge wird aus Formel 1 (Krešić, 2007):

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S} \quad \text{Formel 11}$$

Bzw. vereinfacht (Krešić, 2007):

$$s = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \cdot \log \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S} \quad \text{Formel 12}$$

Auswertung des Wiederanstiegs/„residual drawdown“

Wird der Pumpvorgang beendet, kommt es zu einem Wiederanstieg des Grundwassers. Zunächst steigt der Grundwasserspiegel im Pumpbrunnen schlagartig an, danach wird er kontinuierlich immer langsamer mit der Zeit. Im besten Fall wird zum Schluss der Ausgangswasserspiegel wieder erreicht (Langguth & Voigt, 2004). Dieser Wiederanstieg ist auch als Restabsenkung s' bekannt. Es wird der Unterschied zwischen dem ursprünglichen Wasserstand vor dem Pumpbeginn und dem Wasserstand nach der Zeit t' nach Beendigung des Pumpversuchs verstanden (Abbildung 14).

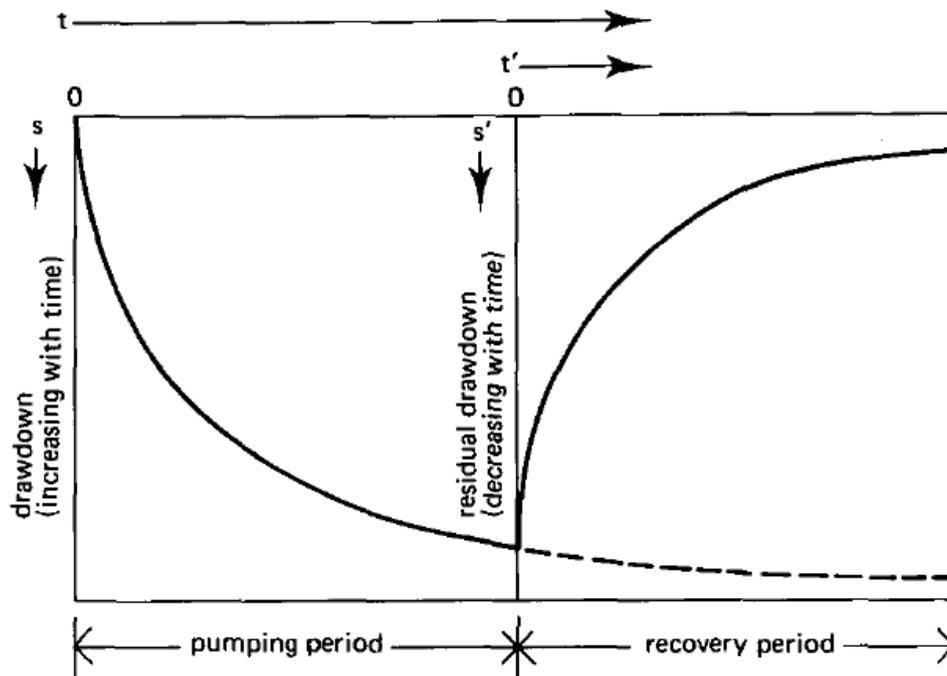


Abbildung 14: Absenkung und Wiederanstieg während eines Pumpversuchs. s = Absenkung („drawdown“) ansteigend mit der Zeit, s' = Restabsenkung („residual drawdown“) absenkend mit der Zeit, t = Zeit ab Pumpbeginn, t' = Zeit ab dem Wiederanstieg. „Pumping period“ ist die Pumpphase und die „recovery period“ ist die Wiederanstiegsphase nach der Pumpphase (Kruseman & de Ridder, 2000)

Die Auswertung eines Wiederanstiegs ermöglicht die Ermittlung der Transmissivität des Aquifers. Oft sind die Ergebnisse der Wiederanstiegsauswertung sogar zuverlässiger als die der Absenkung, weil der Wiederanstieg konstant voranschreitet. Im Gelände gestaltet sich das Halten von einer konstanten Pumprate manchmal etwas schwierig. Die Auswertung eines Wiederanstiegs basiert auf dem Superpositions-/Überlagerungsprinzip (Kruseman & de Ridder, 2000). Es wird also angenommen, dass der Zufluss vom Aquifer in den Brunnen während des Wiederanstiegs durch einen imaginären Injektionsbrunnen in den Aquifer simuliert werden kann. Dieser Injektionsbrunnen hat dieselbe Pumprate wie der reale Testbrunnen, aber mit einem negativen Vorzeichen. Daher kann der gesamte Pumpversuch als eine Superposition von Flüssen zu 2 Brunnen gesehen werden. Zum Zeitpunkt, wenn der reale Pumpvorgang beendet wird, beginnt der imaginäre Brunnen Wasser in den Aquifer zu injizieren und der reale Brunnen fördert weiterhin mit derselben Pumprate. Der resultierende Wiederanstieg zu jedem Zeitpunkt nach dem Pumpstopp ist die algebraische Summe der Absenkung des Förderbrunnens (der weiterhin pumpt) und dem Anstieg (negative Absenkung) vom imaginären Injektionsbrunnen (Krešić, 2007):

$$s' = s + s_{rcv} \quad \text{Formel 13}$$

In Formel 13 steht s' für den resultierenden Wiederanstieg, der im Brunnen gemessen wird, s ist die Absenkung des Förderbrunnens und s_{rcv} ist der Wiederanstieg (negative Absenkung) des Injektionsbrunnens. Mit der Theis-Gleichung folgt (Krešić, 2007):

$$s' = \frac{+Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u) + \frac{-Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u_{rcv}) \quad \text{Formel 14}$$

Der Parameter u für den Förderbrunnen lautet (Krešić, 2007):

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t} \quad \text{Formel 15}$$

Hier ist r der radiale Abstand vom Pumpbrunnen, wo die Absenkung aufgezeichnet wird, S ist der Speicherkoeffizient, T die Transmissivität und t ist die Zeit seit dem realen Pumpbeginn.

Der Parameter u_{rcv} für den Injektionsbrunnen lautet (Krešić, 2007):

$$u_{rcv} = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t'} \quad \text{Formel 16}$$

In dieser Gleichung steht t' für die Zeit seitdem der reale Pumpversuch geendet hat. Wenn der Parameter u laut Krešić, 2007 bei $\leq 0,05$, nach Kruseman & de Ridder, 2000 bei $< 0,1$ und nach Langguth & Voigt, 2004 bei $\leq 0,02$ kann die Theis-Gleichung wie im Fall von Cooper&Jacob wie folgt vereinfacht werden (Krešić, 2007):

$$s' = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left[n \left(\frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S} \right) - \ln \left(\frac{2,25 \cdot T \cdot t'}{r^2 \cdot S} \right) \right] \quad \text{Formel 17}$$

Oder (Krešić, 2007):

$$s' = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \ln \left(\frac{t}{t'} \right) \quad \text{Formel 18}$$

Nachdem $\ln(x) = 2,3 \log(x)$ ergibt, kann Formel 18 auch wie folgt geschrieben werden (Krešić, 2007):

$$s' = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \ln \left(\frac{t}{t'} \right) \quad \text{Formel 19}$$

$$s' = 0 = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \ln \left(\frac{t}{t'} \right) \quad \text{Formel 20}$$

In dieser Arbeit wird t/t' mit S/S' beschrieben, da das im Programm „AQTESOLV“ so angegeben wird. Wie auch oben beschrieben, bedeutet ein Wert von $S/S' > 1$ eine Grundwasseranreicherungsquelle während dem Pumpversuch. $S/S' < 1$ deutet auf eine vorhandene Barriere während dem Pumpversuch hin. Somit ist S/S' das Verhältnis des Speicherkoeffizienten während dem Pumpen zum Speicherkoeffizienten während des Wiederanstiegs (Duffield, 2007).

Papadopulos&Cooper (1967)

Die Papadopulos&Cooper Gleichung wird für ein instationäres Fließen zu einem vollkommenen Pumpbrunnen mit einem großen Durchmesser in einem gespannten Aquifer angewandt. Papadopulos (1967) basiert auf folgender Absenkungsgleichung (Kruseman & de Ridder, 2000):

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} F\left(u, \alpha, \frac{r}{r_{ew}}\right) \quad \text{Formel 21}$$

wobei für u und α gilt (Kruseman & de Ridder, 2000):

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot T} \quad \text{Formel 22}$$

$$\alpha = \frac{r_{ew}^2 \cdot S}{r_c^2} \quad \text{Formel 23}$$

Der Ausdruck r_{ew} steht für den effektiven Radius des Filterbrunnens oder den eines offenen Loches, r_c für den Radius des Bereichs des Brunnens ohne Filterrohr, in welchem Bereich sich der Wasserspiegel ändert (Abbildung 15). Die Gleichung 21 beinhaltet die Funktion $F\left(u, \alpha, \frac{r}{r_{ew}}\right)$, welche von den Variablen u , α und $\frac{r}{r_{ew}}$ abhängig ist. Diese Methode berücksichtigt im Gegensatz zu Theis und Cooper&Jacob den Brunnenspeichereffekt.

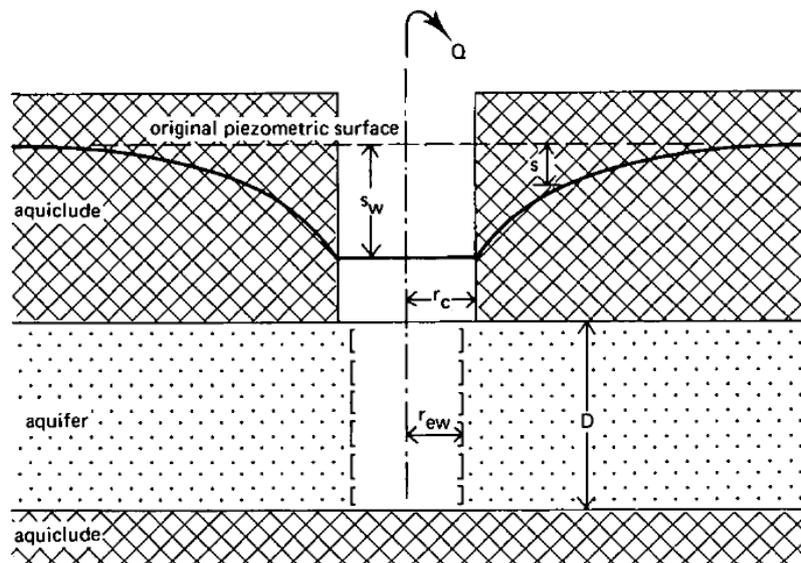


Abbildung 15: Ein gespannter Aquifer mit einem vollkommenen Brunnen mit großem Durchmesser. Q = Schüttung, s_w = Absenkung im Brunnen (Abstich), s = Absenkung, r_c = Radius der Bohrung, r = Radius des Brunnens, D = Aquifermächtigkeit. „Original piezometric surface“ stellt den ursprünglichen Grundwasserspiegel dar. „Aquifer“ stellt den Grundwasserleiter dar, „Aquicludes“ sind die Grundwassernichtleiter (Kruseman & de Ridder, 2000).

Murdoch (1994)

Besteht eine Art Hauptgraben, wo sich das Grundwasser befindet, aus dem gepumpt wird, können so die hydraulischen Parameter durch diese Methode bestimmt werden. Es werden weder Brunnenspeicherung noch Skinfaktor berücksichtigt (Duffield, 2007) (Abbildung 16).

$$s = h_0 - h \quad \text{Formel 24}$$

$$S \frac{\partial s}{\partial t} = T_x \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} \quad \text{Formel 25}$$

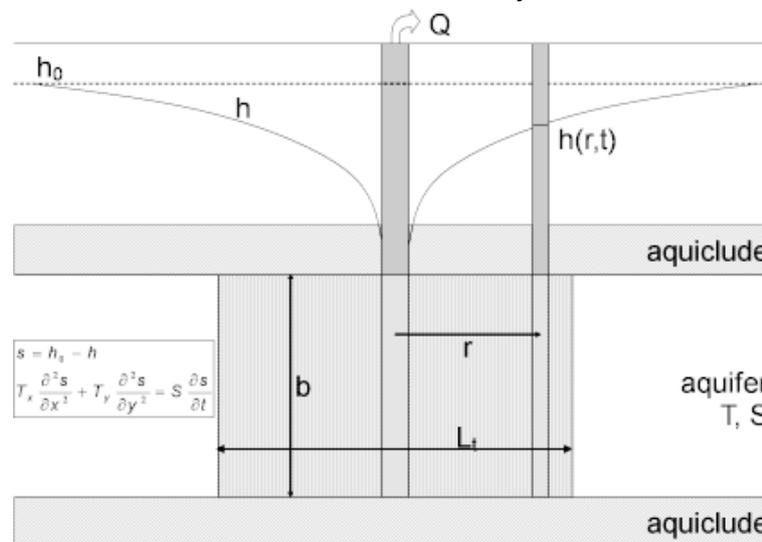


Abbildung 16: Bestimmung der hydraulischen Parameter mittels Murdoch (1994). Q = Schüttung, h_0 = ursprünglicher Grundwasserspiegel, h = Absenkung, r = Abstand zum Beobachtungsbrunnen, b = Mächtigkeit des Aquifers („aquifer“), „aquiclude“ ist der Grundwassernichtleiter. L_t steht für „Length of the fracture“, also Länge der Kluft (Duffield, 2007).

Barker (1988)

Barker (1988) wird für die Berechnung der hydraulischen Parameter eines gespannten Einzelporosität- oder Doppelporosität-Grundwasserleiters verwendet. Das schematische radiale Fließmodell simuliert ein instationäres, n-dimensionales Fließen zu einem vollkommenen Brunnen in einem isotropen, gespannten Aquifer mit Einzelporosität oder Doppelporosität. Es werden Brunnenspeicherung und Skinfaktor berücksichtigt (Duffield, 2007) (Abbildung 17).

$$h_w = \frac{Q \cdot [1 + S_w \Phi(x)]}{p \cdot [p\beta [1 + S_w \Phi(x)] + Kb^{3-n} \alpha_n r_w^{2-n} \Phi(x)]} \quad \text{Formel 26}$$

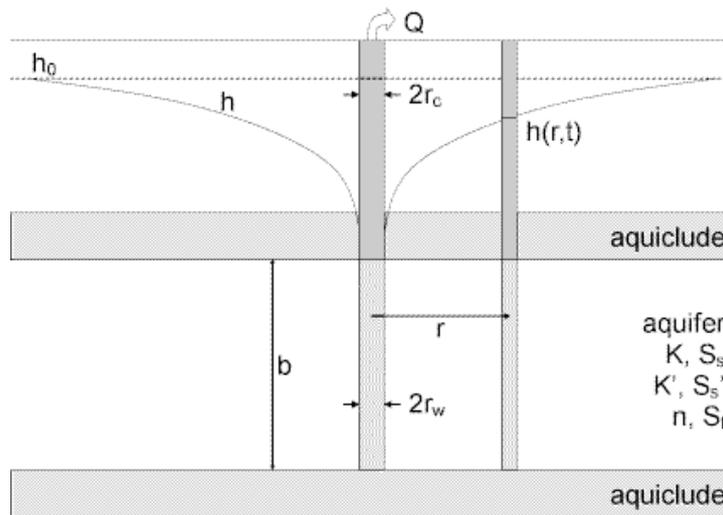


Abbildung 17: Bestimmung der hydraulischen Parameter mittels Barker (1988). Q = Schüttung, h_0 = ursprünglicher Grundwasserspiegel, h = Absenkung, r = Abstand zum Beobachtungsbrunnen, b = Mächtigkeit des Aquifers („aquifer“), „aquiclude“ ist der Grundwassernichtleiter, $2r_c$ = Bohrradius, $2r_w$ = Brunnenradius (Duffield, 2007).

Dougherty&Babu (1984)

Dougherty&Babu (1984) beschreibt eine Formel für ein instationäres Fließen zu einem vollkommenen oder unvollkommenen Brunnen mit endlichem Brunnendurchmesser mit Brunnenspeicherung und Skinfaktor in einem homogenen, isotropen, gespannten Aquifer (Duffield, 2007) (Abbildung 18).

$$s = h_0 - h \quad \text{Formel 27}$$

$$\frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial s}{\partial r^2} + \frac{l}{r} \frac{\partial s}{\partial r} + \frac{K_z}{K_r} \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} \quad \text{Formel 28}$$

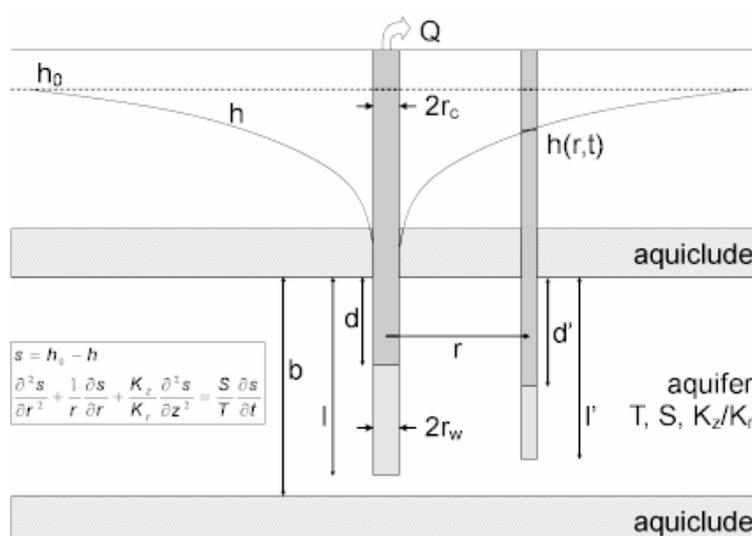


Abbildung 18: Bestimmung der hydraulischen Parameter mittels Dougherty&Babu (1984). Q = Schüttung, h_0 = ursprünglicher Grundwasserspiegel, h = Absenkung, r = Abstand zum Beobachtungsbrunnen, b = Mächtigkeit des Aquifers („aquifer“), „aquiclude“ ist der Grundwassernichtleiter, $2r_c$ = Bohrradius, $2r_w$ = Brunnenradius (Duffield, 2007).

VERWENDETE METHODIK ZUR KORRELATIONSANALYSE

Die Korrelationsanalyse bestimmt aus einer Serie von Daten den Grad der Abweichung der Variablen. In dieser Masterarbeit werden die Autokorrelation sowie die Kreuzkorrelation angewendet und mittels der Software MATLAB kalkuliert. Der Sinn hinter dieser Anwendung ist es, die bestehenden 5 Beobachtungsbrunnen auf ihre Ähnlichkeit zu überprüfen.

Die **Autokorrelation** ermöglicht die Messdaten bspw. eines Brunnen auf ihre Selbstähnlichkeit zu prüfen. Die Anzahl der zu vergleichenden Wertepaare sinkt mit höherem Verschiebungsweg, dadurch wird die Genauigkeit der Selbstähnlichkeitseinschätzung geringer. Mit zunehmendem Verschiebungsweg nimmt der Autokorrelationskoeffizient ab. Bei einer zyklischen Wiederholung von Daten, verläuft der Autokorrelationskoeffizient periodisch auf und ab (Genske, 2006). Da hier Messdaten mit sich selbst verglichen werden, kommt der höchste Peak an der Stelle $k(\text{lags})=0$ vor. Die Autokorrelationsfunktion wird bei $k(\text{lags})=0$ beginnend in positive Verschiebungsrichtung aufgetragen (Larocque et al., 1998). Besteht eine höhere Selbstähnlichkeit der Daten, sinkt die Steigung langsam ab. Wohingegen sie steil und schnell abfällt, wenn sich die Daten nicht ähneln. (zusammengefasst in Mayaud et al., 2014)

Hat ein Ereignis eine langzeitliche Auswirkung auf die Zeitreihe, sinkt die Steigung der Autokorrelationsfunktion $r(k)$ langsam (zusammengefasst in Larocque et al., 1998). Die Formel lautet:

$$r(k) = \frac{c(k)}{c(0)} \quad \text{Formel 29}$$

$$c(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}) \cdot (x_{t+k} - \bar{x}) \quad \text{Formel 30}$$

n = Länge der Zeitreihe
 k = Zeitliche Verschiebung (time lag) [$k = 0$ to m]
 t = Zeit bei x
 x = ist ein einzelnes Ereignis
 \bar{x} = Mittelwert der Ereignisse
 m = Schnittstelle

Die Schnittstelle m bestimmt das Intervall, indem die Analyse ausgeführt wird und wird für gewöhnlich gewählt, um ein gegebenes Verhalten wie jährliche oder langzeitliche Ereignisse einzugrenzen. Für m sollte $1/3$ der gesamten Länge der Datenreihe gewählt werden, um eine aussagekräftigere Autokorrelation zu erhalten. (zusammengefasst in Mayaud et al., 2014)

In dieser Arbeit wird die Autokorrelation verwendet um die Periodizität der Messdaten der einzelnen Brunnen zu vergleichen. Somit ist es möglich, eine Zyklizität der Datenreihe zu analysieren.

Die **Kreuzkorrelation** vergleicht Datenreihen unterschiedlicher Herkunft miteinander. Somit können bspw. die Daten 2 verschiedener Brunnen miteinander auf ihre Ähnlichkeit überprüft werden. Die Methode der Kreuzkorrelation basiert darauf, dass 2

Datenreihen gegeneinander verschoben und verglichen werden und folglich die Ähnlichkeit der Datenreihen bestimmt wird (Genske, 2006). Es wird zwischen der Input Zeitreihe x_t und der Output Zeitreihe y_t verglichen. Auf der X-Achse werden die Verschiebungen der einzelnen Messwerte zueinander mit „k(lags)“ angegeben. Die Kreuzkorrelationsfunktion ist zentriert um den Punkt $k(\text{lags})=0$. Diese Stelle gibt ebenfalls den maximalen Grad der Korrelation an. Bei einer Korrelation in jeglichem annehmbaren Maße, befindet sich an dieser Stelle der höchste Peak der Kurve (Larocque et al., 1998). Bei einem maximalen Peak von $r(k) = 1$, ist die maximale Ähnlichkeit der Zeitreihen x und y gegeben. Ist der höchste Peak nicht bei $k(\text{lags}) = 0$, sondern verschoben (z.B. bei $k(\text{lags}) = 3$), handelt es sich dabei um eine zeitliche Verschiebung der Ähnlichkeit. Dies gibt an, in wie weit die Datenreihen phasenverschoben sind. (Weyerhäuser, 2005) Die Formel lautet (zusammengefasst in Larocque et al., 1998):

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{Formel 31}$$

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}) \cdot (y_{t+k} - \bar{y}) \quad \text{Formel 32}$$

$C_{xy}(k)$ = Kreuz-Korrelogramm
 σ = Standardabweichung für die Zeitreihe x und y

Prinzipiell ist die Kreuzkorrelationsfunktion keine symmetrische Funktion. Tritt sie jedoch trotzdem symmetrisch, zentriert um den Punkt $k(\text{lags})=0$ auf, ist das Einwirken einer externen Größe auf beide Brunnen erkennbar (Larocque et al., 1998). Um zu überprüfen, ob die Brunnen von ähnlichen Faktoren beeinflusst werden, wird die Kreuzkorrelation angewendet. Da die Wasserspiegelhöhen der Brunnen auch von Umwelteinflüssen abhängen und in näherer Umgebung liegen, liegt es nahe, dass sie tlw. ähnlich reagieren können.

6. ERGEBNISSE

AUSWERTUNG DER PUMPVERSUCHE

Die Pumpversuche wurden mittels AQTESOLV ausgewertet. Da nicht jeder Pumpversuch gleich viele Phasen hat, folgt eine kurze Übersicht über die Pumpversuche, die untersucht wurden und deren Anzahl an Absenkungen und Wiederanstiegen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Aufzählung der Pumpversuche mit dem Durchführungsjahr und der Anzahl der Absenkungen sowie der Wiederanstiege.

Name des Pumpversuchs	Jahr	Anzahl Absenkung	Anzahl Wiederanstieg
Grosshart	1996	1	1
Kaindorf Kopfung I	1983	2	2
	1985	2	2
Kaindorf Kopfung II	1983	2	2
	1985	2	2
Kaindorf Kopfung III	1985	2	2
	1986	2	2
Markt Hartmannsdorf	1989	3	3
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 1	1994	1	1
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 2	1994	1	1
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 3	1994	1	1
Sinabelkirchen/Egelsdorf Br. 4	1994	1	1
Sinabelkirchen/Gnies	1994	1	1
Unterrohr	1996	2	2
Urscha	1995	3	3

Die ungefähren Lagen der Bohrungen und deren Entfernung zu Grafendorf bei Hartberg sind im Kapitel „Geologie des Steirischen Beckens“ aufgelistet. Alle Ortschaften befinden sich laut der Fachabteilungen des Amtes der Steirermärkischen Landesregierung innerhalb der ausgewiesenen Zone „Tiefengrundwasserkörper Steirisches und Pannonisches Becken“ und innerhalb der Zone „Hügelland Raab West“ für oberflächennahe Grundwasserkörper (www.gis.steiermark.at).

Die Pumpversuche wurden mit den Auswertemethoden Cooper&Jacob, Theis, Papadopulos&Cooper, Barker, Dougherty&Babu sowie Murdoch ausgewertet. Cooper&Jacob zählt zu den Grundanwendungsverfahren und wurde aus diesem Grund auch in dieser Arbeit angewendet. Die Methode Papadopulos&Cooper berücksichtigt einen Brunnenspeichereffekt, der in manchen Pumpversuchen deutlich zu erkennen ist. Neben dem Brunnenspeichereffekt berücksichtigen die Methoden Barker sowie Dougherty&Babu auch den Skineffekt. Murdoch bezieht sich auf einen begrenzten Bereich, wo die Hauptquelle der wasserführenden Schicht angebohrt wird. Nicht in jeder Absenkung oder jedem Wiederanstieg ist sofort zu erkennen, welche Untergrundgegebenheiten oder Einflüsse durch den Ausbau der Bohrung ausschlaggebend für die Auswertung sind. Deshalb werden unabhängig von den im

Vorhinein angenommenen Randbedingungen und Untergrundgegebenheiten alle Auswertemethoden angewendet, um einen Vergleich zu ermöglichen. Im Anschluss an den Pumpversuchsauswertungen folgt ein Vergleich der Anwendbarkeit der Methoden.

Für die Beurteilung des Speicherkoeffizientenwertes wird als Richtwert für gespannte Grundwasserleiter eine Größenordnung von 10^{-3} bis 10^{-5} angenommen (Coldewey & Hölting, 2013).

Auswertung des Pumpversuchs Grosshart

Tabelle 7: Parameter und Werte des Pumpversuchs Grosshart, die für die Auswertung angewendet wurden (Kaiser, 1996).

Parameter	Werte
Mächtigkeit	17 m
Radius der Bohrung	0,150 m
Radius des Filterrohrs	0,0625 m
Pumpstart	06.02.1996 08:30 Uhr
Pumpende/Start der Wiederanstiegsaufzeichnung	14.02.1996 11:00 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	05.04.1996 10:05 Uhr

Der Kurvenverlauf der Absenkung ist zunächst durch einen steilen Anstieg der Kurve charakterisiert, der daraufhin relativ gerade bleibt (Abbildung 19). In der halblogarithmischen Darstellung ist ebenfalls eine Abweichung zu Beginn des Kurvenverlaufs zu erkennen (Abbildung 19). Die Wiederanstiegskurve zeigt stark abweichende Messpunkte zu Beginn des Wiederanstiegs (Abbildung 20). Nach der kurzen Abweichung folgt eine nur sehr langsam ansteigende Kurve. Zum Ende des Wiederanstiegs steigt die Kurve wieder stärker an.

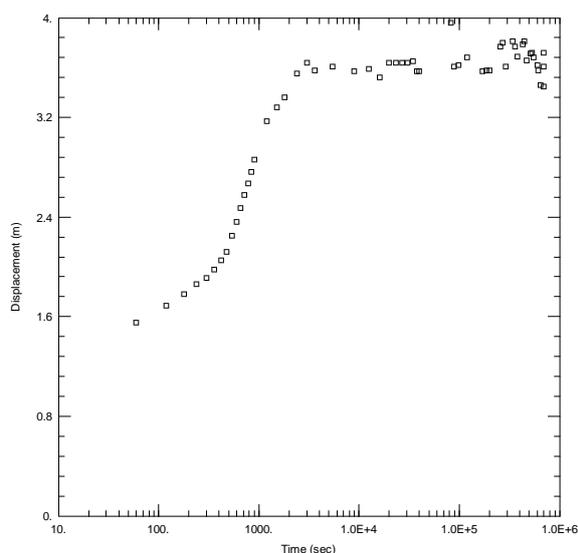


Abbildung 19: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Grosshart

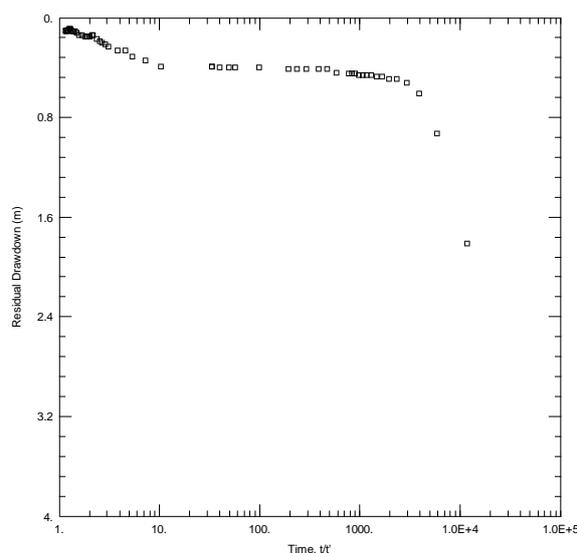


Abbildung 20: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Grosshart

Da in diesem Beispiel 2 Horizonte erschlossen werden, kommt aus einem Horizont möglicherweise immer wieder Wasser nach, da sich ein Aquitard zwischen den 2 Horizonten befinden kann. Dies ist an der deutlich erkennbaren Infiltrationsgrenze des

Kurvenverlaufs der Absenkung zu erkennen (Abbildung 19) (vgl. Abbildung 13.1.a-c bzw. vgl. Abbildung 12 A u. A'). Auch ein Brunnenspeichereffekt ist sichtbar (vgl. Abbildung 13.2.c). Der Wiederanstieg zeigt ebenfalls einen Brunnenspeichereffekt (vgl. Abbildung 13.2.d). Die Infiltrationsgrenze ist auch hier am Kurvenverlauf zu erkennen, allerdings steigt die Kurve zum Ende hin steiler an (Abbildung 20). Dieser Kurvenverlauf ähnelt einem Doppelporositätsmodell, was ebenfalls auf die 2 Horizonte zurückgeführt werden kann (vgl. Abbildung 13.5.d).

Tabelle 8: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Grosshart

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,50 \cdot 10^{-10}$
Theis	$T = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,80 \cdot 10^{-10}$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,90 \cdot 10^{-11}$
Barker	$T = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,15 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 4,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,03 \cdot 10^{-10}$
Murdoch	$T = 3,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,72 \cdot 10^{-11}$

Tabelle 9: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Grosshart

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis (1. Steigung)	$T = 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 8,47 \cdot 10^{-6}$
Theis (2. Steigung)	$T = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,645$
Papadopulos&Cooper	$T = 6,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,21 \cdot 10^{-5}$
Barker	$T = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,55 \cdot 10^{-11}$
Dougherty&Babu	$T = 5,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,00 \cdot 10^{-10}$
Murdoch	$T = 4,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,00 \cdot 10^{-10}$

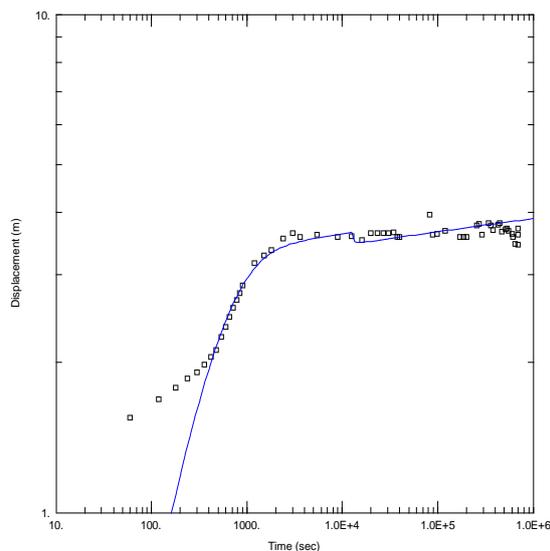


Abbildung 21: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Grosshart ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

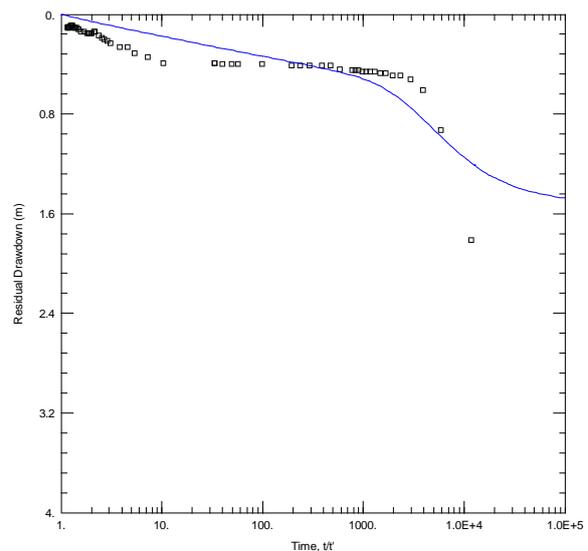


Abbildung 22: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Grosshart ausgewertet nach Barker

Die Auswertung der Absenkung ergab für die Transmissivität Werte zwischen $4,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Der Speicherkoeffizient, der mit der Methode Barker

berechnet wurde, liegt mit $5,15 \cdot 10^{-4}$ genau im Bereich eines gespannten Aquifers. Die anderen Methoden berechneten einen Wert von $6,50 \cdot 10^{-10}$ bis zu $2,90 \cdot 10^{-11}$, was für einen gespannten Aquifer viel zu niedrige Werte sind.

Die Ergebnisse der Auswertung des Wiederanstiegs sind sehr ähnlich zu den Ergebnissen der Absenkung. Die Werte für die Transmissivität liegen zwischen $1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Das Ergebnis für den Speicherkoeffizienten, der nach Papadopulos&Cooper berechnet wurde, ergibt $1,21 \cdot 10^{-5}$, was im annehmbaren Bereich für einen gespannten Aquifer liegt. Die restlichen Methoden haben ähnliche Werte wie für die Absenkung ergeben und liegen somit auch viel zu niedrig. Die Auswertung nach Dougherty&Babu sowie Murdoch ergibt $1,00 \cdot 10^{-10}$ und das Ergebnis, dass mit der Methode Barker berechnet wurde, liegt bei $9,55 \cdot 10^{-11}$. Die Werte S/S' mit $8,47 \cdot 10^{-6}$ (Theis 1. Steigung) und $0,645$ (Theis 2. Steigung) deuten auf eine Barriere hin (Duffield, 2007). Da die beiden Steigungen im Grunde genommen flacher verlaufen, wäre eigentlich eine Infiltrationsgrenze und keine Barriere zu erwarten (vgl. Abbildung 13.1.d). Auch die Absenkungsdaten zeigen eine Infiltrationsgrenze (vgl. Abbildung 13.1.b).

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I von 1983

1. Phase von 1983

Tabelle 10: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I, 1983

Parameter 1983	Werte 1983
Mächtigkeit	10 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1 (83/1)	04.08.1983 09:33 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	07.08.1983 10:48 Uhr
Pumpstart Stufe 2 (83/2)	08.08.1983 11:30 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	10.08.1983 11:30 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	10.08.1983 17:00 Uhr

Der Kurvenverlauf der Absenkung der 1. Phase weicht zu Beginn des Pumpversuchs zunächst ab (Abbildung 23). In weiterer Folge steigt die Kurve stetig an. Die Förderrate wurde mit der Zeit von durchschnittlich 2,50 l/s auf 2,00 l/s stetig gesenkt (Abbildung 24). Die Wiederanstiegskurve der 1. Phase bleibt zu Beginn flach und verläuft dann steil bis zum Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung (Abbildung 25).

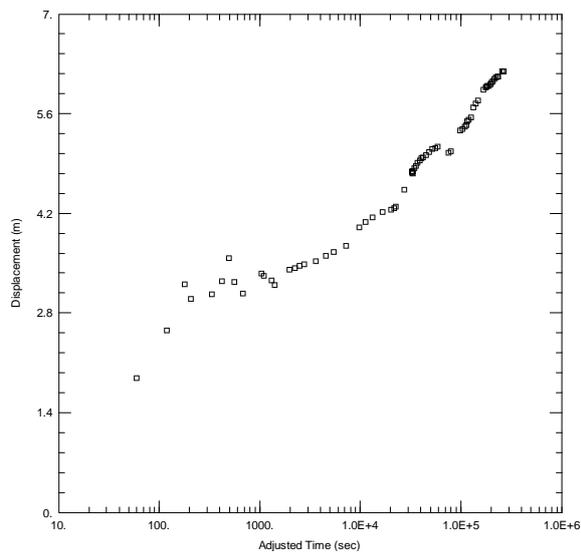


Abbildung 23: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/1

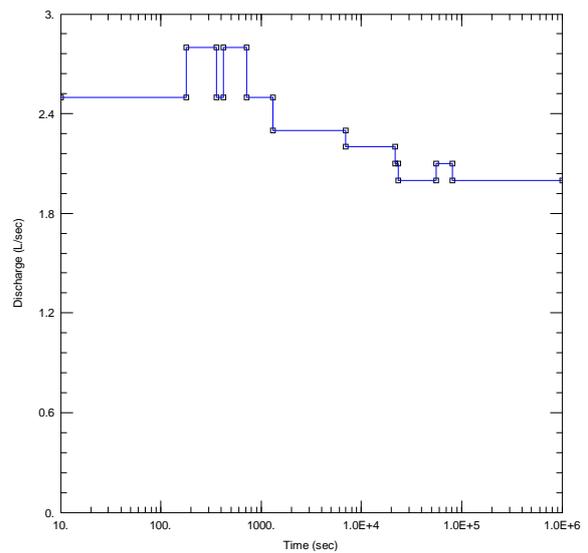


Abbildung 24: Darstellung der Schüttung während des PVs Kaindorf Kopfung I, 1983/1

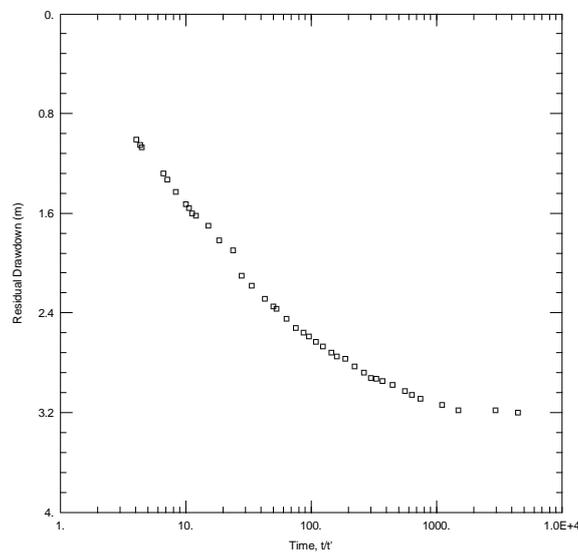


Abbildung 25: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/1

In der Darstellung der Absenkung ist ein Brunnenspeichereffekt zu sehen (Abbildung 23) (vgl. Abbildung 13.2.b). Der steile Kurvenverlauf bedeutet, dass eine Staugrenze vorhanden ist (vgl. Abbildung 12 B' bzw. Abbildung 13.1.c). Obwohl die Förderrate gedrosselt wurde, ist die Absenkung weiterhin stark gesunken, was das Vorhandensein einer Staugrenze bestätigt (Abbildung 24). Auch im Kurvenverlauf des Wiederanstiegs ist die Staugrenze sichtbar (Abbildung 25) (vgl. Abbildung 13.1.d). Der Brunnenspeichereffekt ist hier nicht so deutlich sichtbar wie in der Darstellung der Absenkung (vgl. Abbildung 13.2.d). Es werden 2 Horizonte erschlossen, sie liegen nahe aneinander und unterscheiden sich von ihrer Zusammensetzung her marginal.

Tabelle 11: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,93$
Theis	$T = 3,74 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,38 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,43 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 2,70 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,55 \cdot 10^{-9}$
Dougherty&Babu	$T = 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,29 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 4,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,06 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 12: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 2,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,64$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,29 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1$
Dougherty&Babu	$T = 2,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1$
Murdoch	$T = 2,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,55 \cdot 10^{-1}$

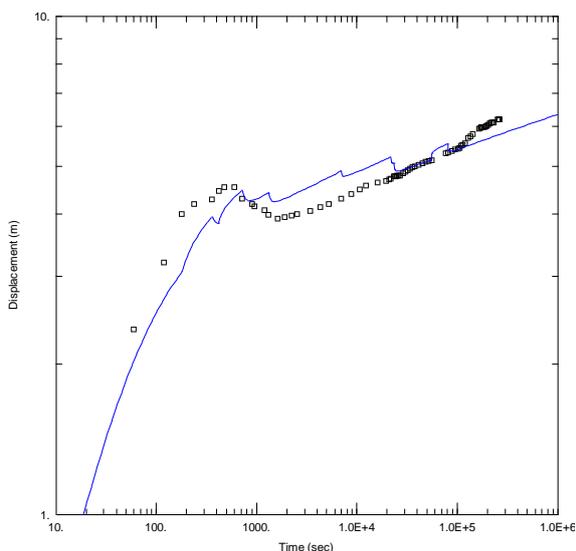


Abbildung 26: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/1 ausgewertet nach Dougherty&Babu

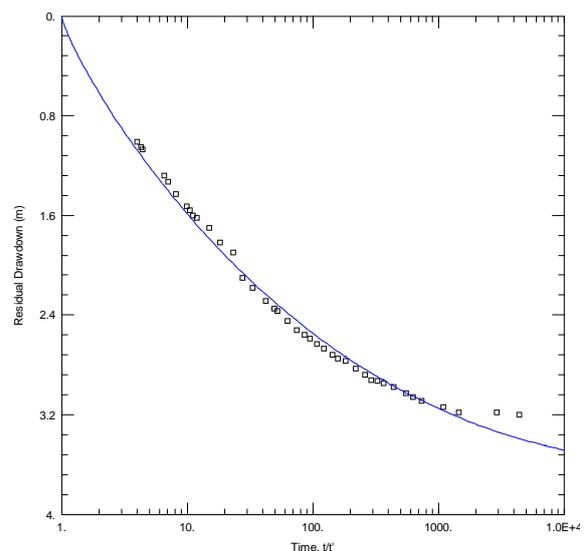


Abbildung 27: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/1 ausgewertet nach Barker

Die Auswertung der Absenkung hat ergeben, dass für die Transmissivität mit einer Ausnahme alle Werte zwischen $4,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ liegen. Die Ausnahme bildet das Ergebnis, dass mit der Methode Barker berechnet wurde, denn hier liegt der Wert bei $2,70 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten variieren etwas stärker. Die Ergebnisse zwischen $7,43 \cdot 10^{-3}$ und $2,06 \cdot 10^{-4}$ liegen in einem Bereich, der für einen gespannten Aquifer normal ist.

Die Werte für die Transmissivität, die für den Wiederanstieg berechnet wurden, liegen im selben Bereich wie bei der Absenkung und zwar zwischen $4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für die Speicherkoeffizienten sind bis auf eine Ausnahme viel zu hoch. Die Ausnahme bildet die Berechnung nach der Auswertungsmethode

Papadopulos&Cooper, die für den Speicherkoeffizienten $1,29 \cdot 10^{-3}$ ergibt. Der Wert S/S' mit 0,64 deutet auf eine vorhandene Barriere hin (Duffield, 2007).

2. Phase von 1983

In der 2. Phase des Pumpversuchs von 1983 weicht der Kurvenverlauf der Absenkung zunächst ab, allerdings nicht so stark wie in der 1. Phase (Abbildung 28). Des Weiteren ist der Kurvenverlauf wieder, wie in der 1. Phase, steil. Die Förderrate ist auch in der 2. Phase nicht gleichbleibend. Ab der 1800. Sek. schwankt die Förderrate zwischen 3,80 l/s und 4,50 l/s. Ab der 10.320. Sek. pendelt sich der Wert der Förderrate wieder auf 4,00 l/s ein (Abbildung 29). Der Beginn des Kurvenverlaufs der Wiederanstiegskurve ist eher flach und wird dann, wie in der 1. Phase, steil (Abbildung 30).

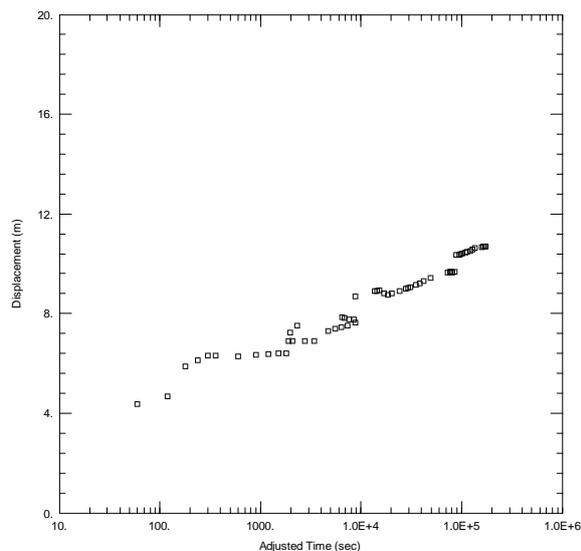


Abbildung 28: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/2

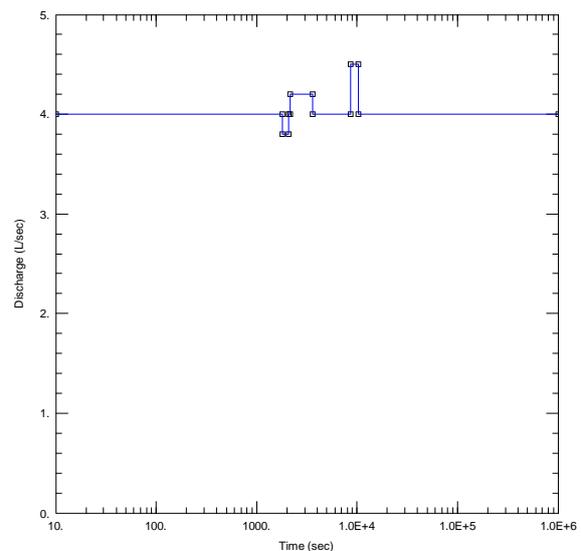


Abbildung 29: Darstellung der Schüttung während des PVs Kaindorf Kopfung I, 1983/2

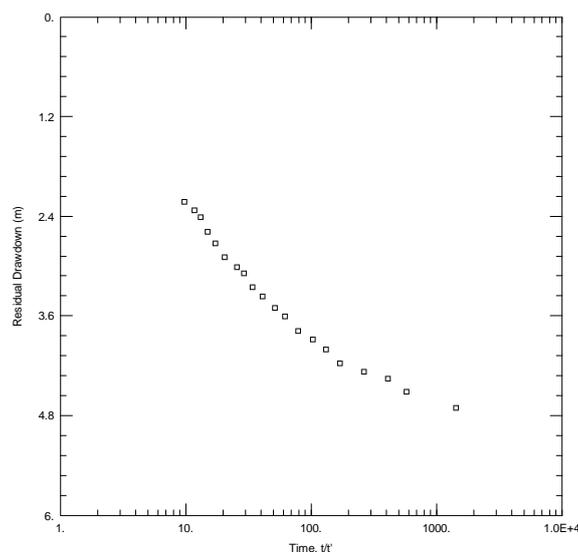


Abbildung 30: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/2

In der 2. Phase ist ebenfalls in den Darstellungen der Absenkung und des Wiederanstiegs eine Staugrenze ersichtlich (Abbildung 28) (Abbildung 30) (vgl. Abbildung 13.2.b; vgl. Abbildung 12 B' bzw. Abbildung 13.1.c). Der

Brunnenspeichereffekt ist nicht so ausgeprägt wie in der 1. Phase (Abbildung 28) (vgl. Abbildung 13.2.d). Die Mächtigkeit musste für die 2. Phase auf 11 m erhöht werden, da ansonsten eine Fehlermeldung im Programm AQTESOLV erschien und nicht weiter ausgewertet werden konnte. Da die Filterrohre nicht so tief sind wie die wasserführenden Schichten mächtig sind, ist es nicht abwegig, dass die Mächtigkeit etwas größer als 10 m ist.

Tabelle 13: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,127$
Theis	$T = 4,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,29 \cdot 10^{-3}$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,85 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 3,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,14 \cdot 10^{-3}$
Dougherty&Babu	$T = 5,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,73 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 7,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,94 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 14: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,66$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,01 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1$
Dougherty&Babu	$T = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Murdoch	$T = 3,30 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,99 \cdot 10^{-2}$

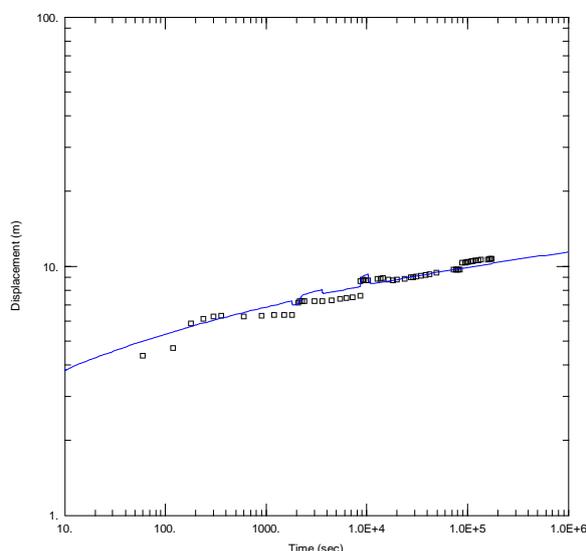


Abbildung 31: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/2 ausgewertet nach Theis

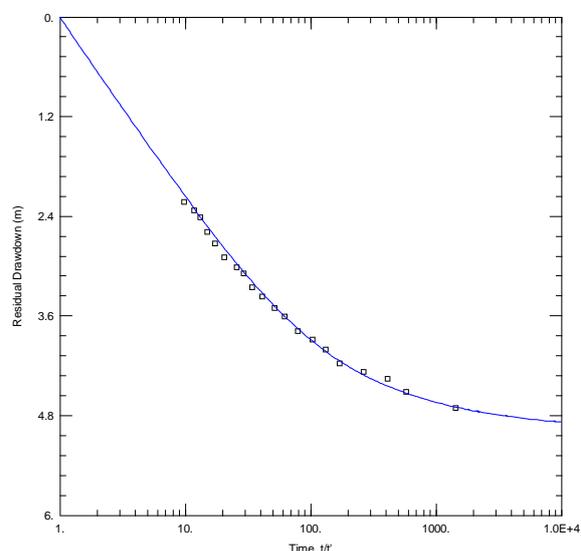


Abbildung 32: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/2 ausgewertet nach Murdoch

Bei der Berechnung der Absenkung haben die Werte für die Transmissivität der 2. Phase große Ähnlichkeiten zu den Ergebnissen der 1. Phase. Die Werte für die Transmissivität liegen zwischen $7,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten sind viel einheitlicher als in der 1. Phase und entsprechen sehr gut einem gespannten Aquifer. Die Ergebnisse der Speicherkoeffizienten sind zwischen $7,85 \cdot 10^{-3}$ und $1,73 \cdot 10^{-3}$.

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs sind ähnlich zu denen der Absenkung der 1. Phase. Sie liegen zwischen $4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten sind zu hoch. Das Ergebnis, das mit der Methode Papadopulos&Cooper erzielt wurde, ist $1,01 \cdot 10^{-2}$ und entspricht am ehesten einem gespannten Aquifer. Der Wert S/S' mit 0,66 bedeutet, wie in der vorherigen Auswertungen, dass eine Barriere vorhanden ist (Duffield, 2007) Sowohl in der Wiederanstiegskurve als auch in der Absenkungskurve ist eine Staugrenze zu sehen.

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I von 1985

1. Phase von 1985

Tabelle 15: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I, 1985

Parameter 1985	Werte 1985
Mächtigkeit	10 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1 (85/1)	08.05.1985 09:30 Uhr
Pumpende/Start Wiederanstieg d. Stufe 1	10.05.1985 11:30 Uhr
Pumpstart Stufe 2 (85/2)	13.05.1985 09:15 Uhr
Pumpende/Start Wiederanstieg d. Stufe 2	31.07.1985 09:40 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	02.08.1985 06:40 Uhr
Pumpenausfall	16.05.1985 20:00 Uhr

In den Darstellungen der 1. Phase der Absenkung von 1985 sind große Ähnlichkeiten zu den Darstellungen der Absenkungen und Wiederanstiege von 1983 erkennbar. Am Anfang des Pumpversuchs ist in der doppellogarithmischen Darstellung der Absenkung eine Abweichung zu erkennen. Daraufhin steigt die Kurve steil an (Abbildung 33). Im Kurvenverlauf des Wiederanstiegs ist ebenfalls ein steiler Kurvenverlauf sichtbar (Abbildung 34).

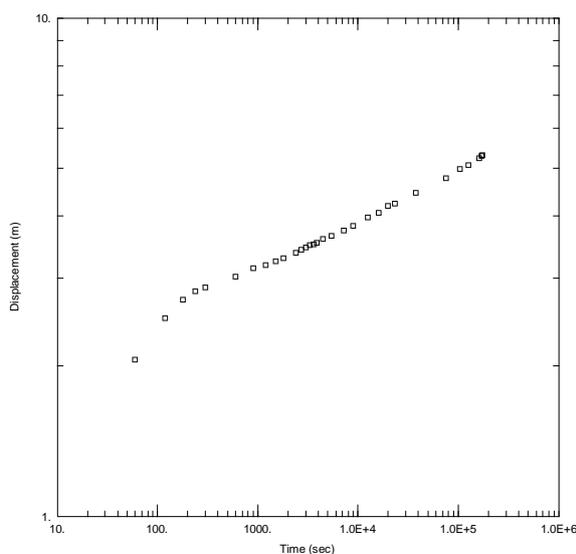


Abbildung 33: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/1

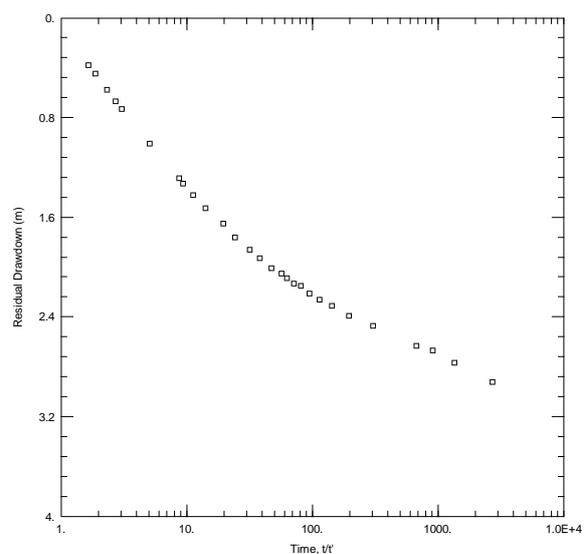


Abbildung 34: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung, 1985/1

Wie im Pumpversuch von 1983 ist auch in der Absenkung und dem Wiederanstieg der 1. Phase von 1985 eine Staugrenze zu erkennen (Abbildung 33) (vgl. Abbildung 13.1.b). Auch die steile Abweichung am Anfang des Pumpversuchs ist ein Hinweis auf einen Brunnenspeichereffekt (vgl. Abbildung 13.2.b). Der Kurvenverlauf des Wiederanstiegs der 1. Phase deutet ebenfalls auf eine Staugrenze hin (Abbildung 34) (vgl. Abbildung 13.1.d). Es werden 2 Aquifere erschlossen, sie liegen nahe aneinander und unterscheiden sich von ihrer Zusammensetzung her kaum.

Tabelle 16: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,25$
Theis	$T = 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,95 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,21 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 3,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,44 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 3,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,39 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 5,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,10 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 17: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1985/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 3,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,79$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,45 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 2,67 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,33 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 2,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,31 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 4,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,00 \cdot 10^{-1}$

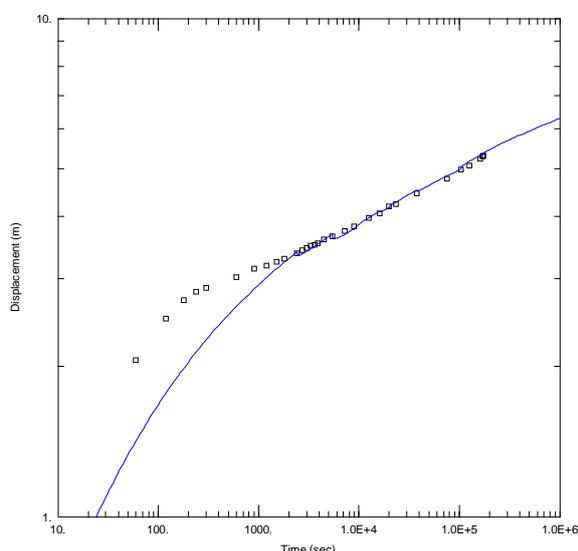


Abbildung 35: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/1 ausgewertet nach Murdoch

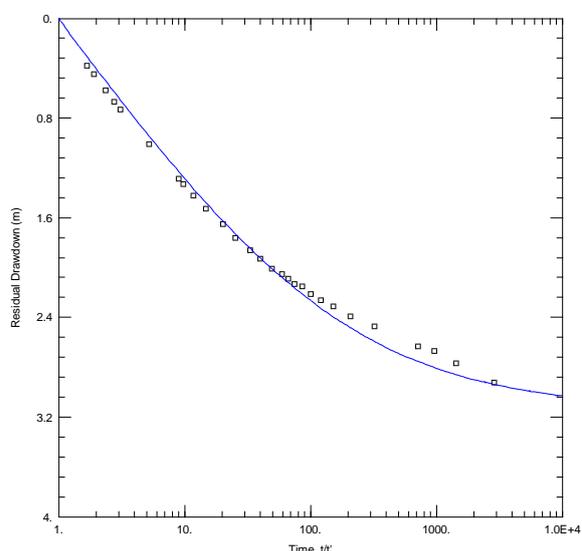


Abbildung 36: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/1 ausgewertet nach Barker

In der Absenkung ergaben alle Methoden ähnliche Ergebnisse für die Transmissivität. Für die Transmissivität wurden Werte zwischen $5,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ berechnet. Die Speicherkoeffizienten reichen größtenteils von $6,21 \cdot 10^{-2}$ bis $2,39 \cdot 10^{-2}$ und sind somit höher als es für gespannte Aquifere typisch wäre. Der

Speicherkoeffizient, der nach Murdoch berechnet wurde, liegt bei $6,10 \cdot 10^{-4}$ und passt zu einem gespannten Aquifer.

Die Ergebnisse für die Transmissivitäten des Wiederanstiegs liegen ähnlich wie bei der Absenkung zwischen $4,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten sind hier ebenfalls wie in der Absenkung etwas zu hoch für einen gespannten Aquifer. Der Wert von 0,79 für S/S' bedeutet in diesem Fall auch, dass eine Barriere vorliegt (Duffield, 2007).

2. Phase von 1985

Der Kurvenverlauf ist sehr ähnlich zu dem der 1. Phase von 1985. Die Grafik der Absenkung lässt zu Beginn des Kurvenverlaufs eine Abweichung erkennen (Abbildung 37). Anschließend verläuft die Kurve steil nach oben. Nach dem gleichmäßig steilen Verlauf der Kurve, folgt eine abrupte Steigung. Wie in der Darstellung der Förderrate ersichtlich ist, steigt ab der Sekunde 4.407.900 die Förderrate auf über 4,00 l/s an (Abbildung 38). Die Wiederanstiegskurve verläuft zunächst leicht abweichend und wird in weiterer Folge steil (Abbildung 39). Dies wurde bereits in der 1. Phase beobachtet.

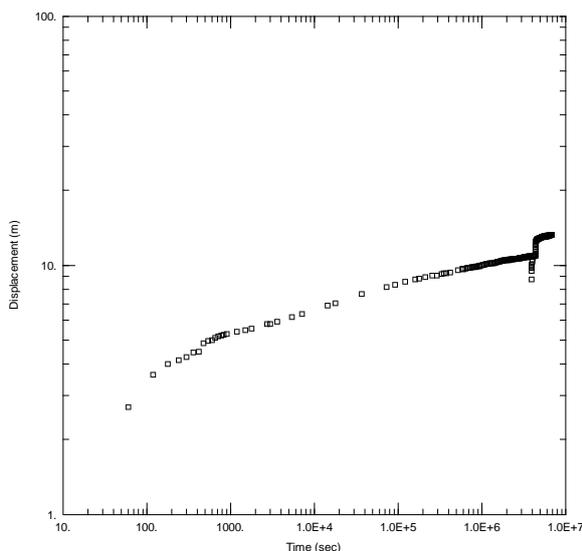


Abbildung 37: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/2

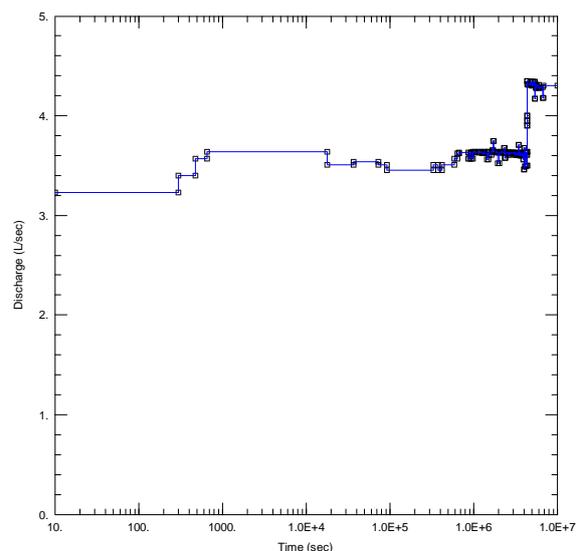


Abbildung 38: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs in Kaindorf Kopfung I, 1985/2

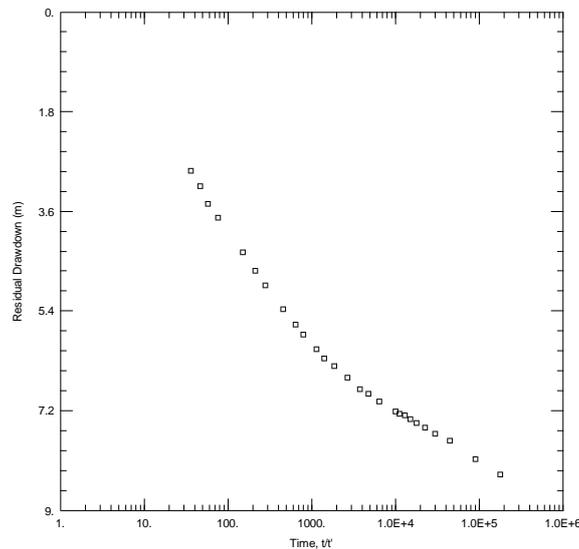


Abbildung 39: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1985/2

In der Grafik der Absenkung ist eine Staugrenze, wie in den Absenkungen zuvor, zu sehen (vgl. Abbildung 13.1.b). Auch ein deutlicher Brunnenspeichereffekt wird hier sichtbar (Abbildung 37). Der abrupte Anstieg ist vermutlich auf die Förderrate zurückzuführen (Abbildung 38) (vgl. Abbildung 13.2.b). Die Wiederanstiegskurve zeigt ebenfalls wie die Absenkung eine Staugrenze und einen Brunnenspeichereffekt (Abbildung 39) (vgl. Abbildung 13.1.d und vgl. Abbildung 13.2.d). Die Mächtigkeit musste auf 14 m erhöht werden, da ansonsten eine Fehlermeldung im Programm AQTESOLV erschien und nicht weiter ausgewertet werden konnte. Da die Filterrohre nicht so tief sind wie die wasserführenden Schichten mächtig sind, ist es nicht abwegig, dass die Mächtigkeit etwas größer als 10 m ist.

Tabelle 18: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,35 \cdot 10^{-2}$
Theis	$T = 4,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,07 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,65 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 2,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,55 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,11$
Murdoch	$T = 3,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,57 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 19: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1985/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 3,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,21$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,29 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,44 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,55 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,89 \cdot 10^{-2}$

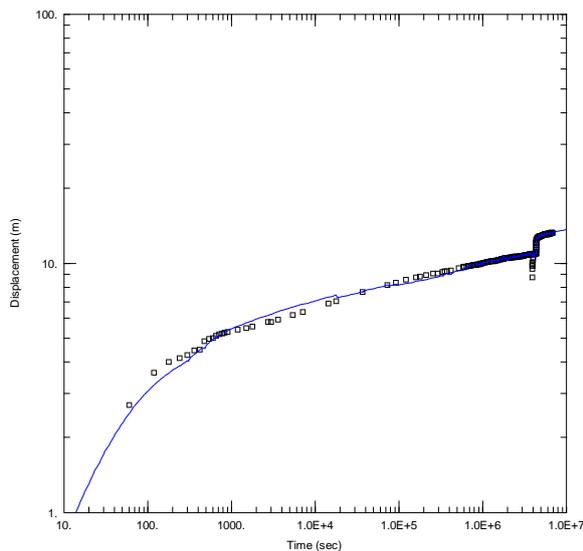


Abbildung 40: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/2 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

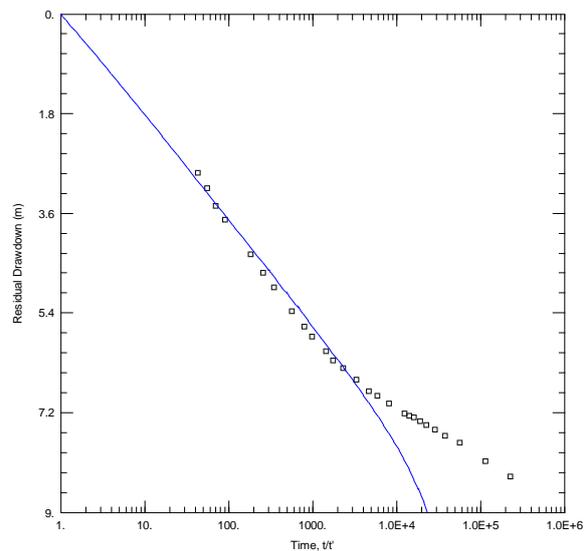


Abbildung 41: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/2 ausgewertet nach Barker

Die Auswertung für die Absenkung hat ergeben, dass sich die Werte für die Transmissivität zwischen $4,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ befinden. Die Werte für den Speicherkoeffizienten, die mit den Methoden Papadopulos&Cooper sowie Murdoch berechnet wurden entsprechen einem gespannten Aquifer. Mit der Methode Papadopulos&Cooper wird $8,65 \cdot 10^{-3}$ berechnet und mit Murdoch $8,57 \cdot 10^{-5}$.

Für den Wiederanstieg liegt die berechnete Transmissivität zwischen $4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte, die für den Speicherkoeffizienten berechnet wurden, weichen untereinander ab und liegen zum Großteil in einer anderen Größenordnung. Das Ergebnis $1,29 \cdot 10^{-3}$, das nach Papadopulos&Cooper sowie $5,44 \cdot 10^{-4}$, das nach Barker berechnet wurde, passen am besten zu einem gespannten Aquifer. Obwohl die Wiederanstiegs- und Absenkungsdaten eine Staugrenze zeigen, ergibt S/S' 1,21 und ist, anders wie bei den anderen Auswertungen von Kaindorf Kopfung I, ein Indiz für eine Infiltration (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II von 1983

1. Phase von 1983

Tabelle 20: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II, 1983

Parameter 1983	Werte 1983
Mächtigkeit	8 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1 (83/1)	04.08.1983 15:30 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	07.08.1983 10:35 Uhr
Pumpstart Stufe 2 (83/2)	08.08.1983 13:40 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	10.08.1983 11:00 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	10.08.1983 17:00 Uhr

In der halblogarithmischen Darstellung ist eine flach verlaufende Kurve erkennbar (Abbildung 42). Zu Beginn des Pumpversuchs sind die Messpunkte leicht verstreut und es stellt sich relativ rasch der flache Kurvenverlauf ein. Die Förderrate ist relativ schnell von 1,9 l/s auf 2,5 l/s bei der 120. Sek. erhöht worden. Im Laufe des Pumpversuchs ging die Förderrate anschließend immer weiter runter bis zu 1,4 l/s (ab 55800 Sek.) (Abbildung 43). Der Wiederanstieg verläuft hat eine flache Steigung und ohne Abweichungen (Abbildung 44).

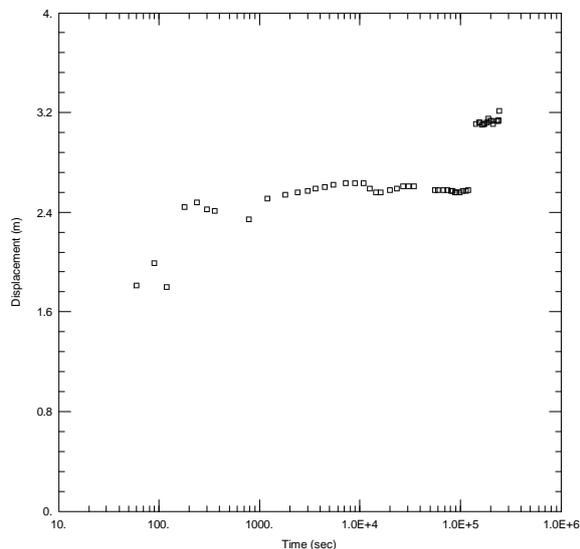


Abbildung 42: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/1

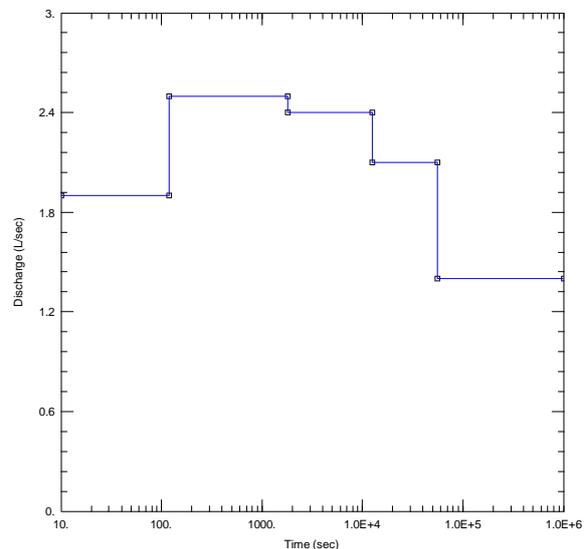


Abbildung 43: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung II, 1983/1

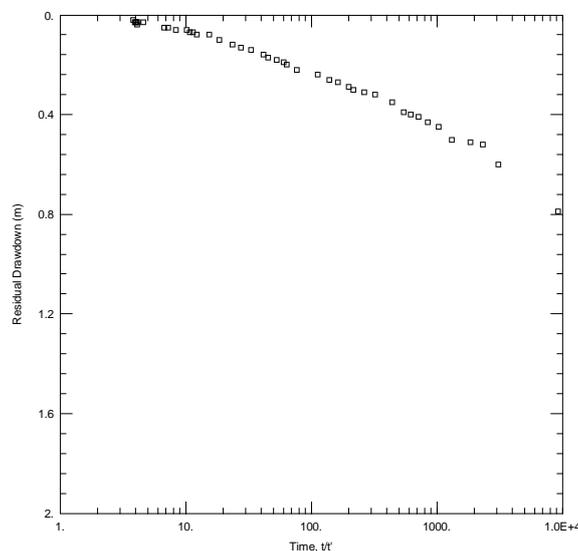


Abbildung 44: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/1

Die Darstellung der Absenkung ist ein typischer Verlauf eines Brunnens mit einer Infiltrationsgrenze (Abbildung 42) (vgl. Abbildung 12 A' bzw. Abbildung 13.1.c). Die Wiederanstiegskurve zeigt gleich wie bei der Absenkung eine Infiltrationsgrenze (Abbildung 44) (vgl. Abbildung 13.1.d). Es wird mit dieser Bohrung nur ein Aquifer erschlossen und es sind keine weiteren wasserführenden Horizonte bekannt. Die Pumpversuche von Kaindorf Kopfung I und II fanden zur selben Zeit statt. Während bei dem Pumpversuch von Kaindorf Kopfung I eine Staugrenze angetroffen hat, hat Kaindorf

Kopfung II eine Infiltrationsgrenze angetroffen. Laut Goldbrunner et al. (1995) beeinflussen sich die 2 Pumpversuche gegenseitig, also könnte dies der Grund für die unterschiedlichen Reaktionen sein. Die Filterrohre von Kaindorf Kopfung I liegen um einige Meter tiefer als jene von Kaindorf Kopfung II.

Tabelle 21: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 7,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,52 \cdot 10^{-5}$
Theis	$T = 5,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,41 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 8,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,25 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 5,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,66 \cdot 10^{-1}$
Dougherty&Babu	$T = 7,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,69 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 9,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,95 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 22: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 4,86$
Papadopulos&Cooper	$T = 2,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,64 \cdot 10^{-5}$
Barker	$T = 5,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,10 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,55 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,14 \cdot 10^{-7}$

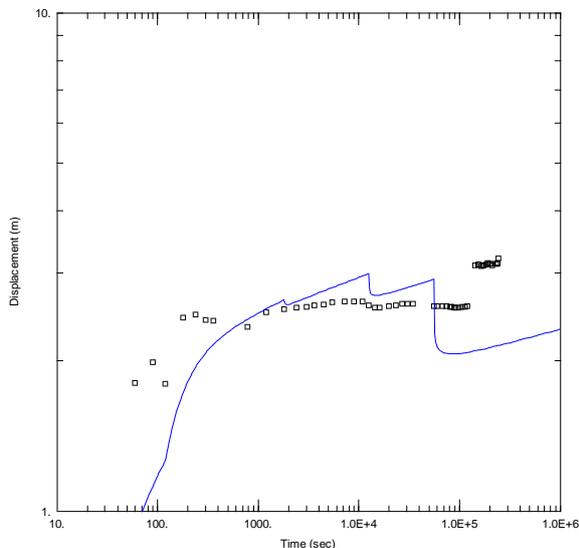


Abbildung 45: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/1 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

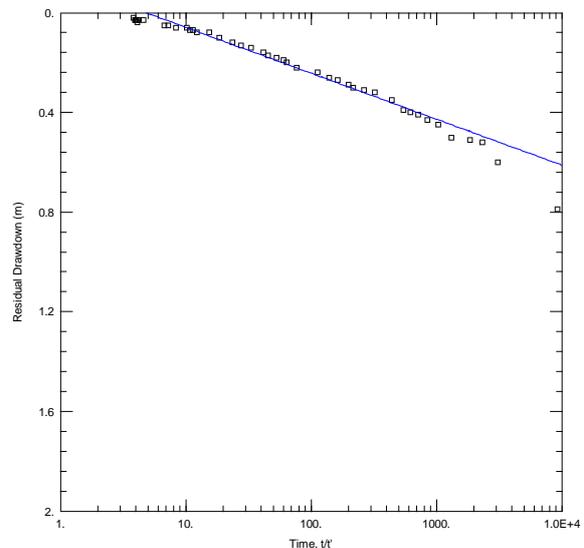


Abbildung 46: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/1 ausgewertet nach Theis

Bei der Absenkung sind die berechneten Werte für die Transmissivität zwischen $7,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $5,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die berechneten Werte für den Speicherkoeffizienten liegen teilweise weit auseinander, und zwar zwischen $1,66 \cdot 10^{-1}$ und $1,52 \cdot 10^{-5}$. Bis auf die Werte, die nach Theis und Barker berechnet wurden, fallen alle anderen Werte in einen passenden Bereich für einen gespannten Aquifer (Tabelle 21).

Der Wiederanstieg hat zum Teil höhere Ergebnisse für die Transmissivitäten ergeben. Hier liegen die Werte von Theis, Papadopulos&Cooper sowie Murdoch bei je $1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, $2,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Methoden Barker und Dougherty&Babu ergaben je $5,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten der einzelnen Methoden liegen weit auseinander. Der Wert, der mit Papadopulos&Cooper berechnet wurde, ist mit $1,64 \cdot 10^{-5}$ noch im angemessenen Bereich für einen gespannten Aquifer. Auch das Ergebnis von der Methode Dougherty&Babu liegt mit $1,55 \cdot 10^{-3}$ im Bereich eines gespannten Aquifers. Der Wert von S/S' ergibt 4,86 und bedeutet somit für eine Infiltrationsgrenze (Duffield, 2007).

2. Phase von 1983

In der 2. Phase von 1983 sind die Darstellungen der Absenkungen etwas anders als in der 1. Phase von 1983. Die Fördermenge blieb über den gesamten Pumpversuch auf 3,5 l/s, schwankte somit nicht so stark wie die Fördermenge des 1. Pumpversuchs 1983. Hier verläuft die Kurve nicht flach, sondern wird mit der Zeit steiler (Abbildung 47). Zu Beginn der Kurve ist eine deutliche Abweichung zu erkennen, die in der 1. Phase nicht so ausgeprägt ist. Auffällig ist, dass große Ähnlichkeiten zum Pumpversuch von 1983 (2. Phase) von Kaindorf Kopfung I bestehen. Die Wiederanstiegskurve hat hingegen keine großen Ähnlichkeiten zur 2. Phase vom Pumpversuch Kaindorf Kopfung I von 1983. Die Kurve hat eine deutliche Abweichung zu Beginn des Wiederaufstiegs (Abbildung 48). Der weitere Verlauf der Kurve ähnelt dem der 1. Phase von 1983, ist somit ebenfalls flacher (vgl. Abbildung 12 A' und B' bzw. Abbildung 13.1.c).

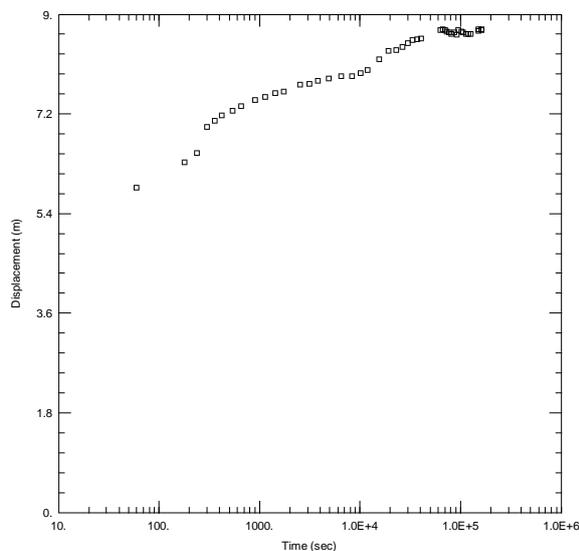


Abbildung 47: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/2

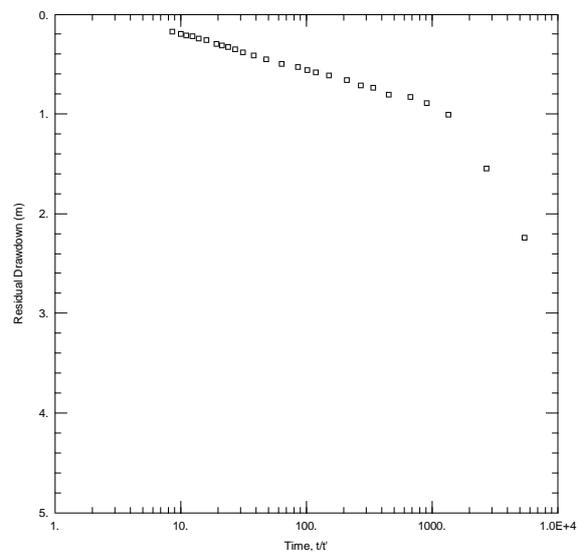


Abbildung 48: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/2

Die Absenkung zeigt im Kurvenverlauf der 2. Phase einen Brunnenspeichereffekt (Abbildung 47) (vgl. Abbildung 13.2.b). Die Infiltrationsgrenze ist in diesem Fall nicht so stark ausgeprägt wie in der 1. Phase. Die Wiederanstiegskurve zeigt einen deutlich ausgeprägten Brunnenspeichereffekt und die Infiltrationsgrenze ist ebenfalls stark zu erkennen (vgl. Abbildung 13.1.d und vgl. Abbildung 13.2.d). Die Mächtigkeit musste auf 9 m erhöht werden, da ansonsten eine Fehlermeldung im Programm AQTESOLV erschien und nicht weiter ausgewertet werden konnte.

Tabelle 23: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 9,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,05 \cdot 10^{-9}$
Theis	$T = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,19 \cdot 10^{-10}$
Papadopulos&Cooper	$T = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,75 \cdot 10^{-10}$
Barker	$T = 9,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,90 \cdot 10^{-10}$
Dougherty&Babu	$T = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,16 \cdot 10^{-11}$
Murdoch	$T = 7,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,55 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 24: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 1,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 2,54$
Papadopulos&Cooper	$T = 2,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,67 \cdot 10^{-8}$
Barker	$T = 2,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,98 \cdot 10^{-7}$
Dougherty&Babu	$T = 2,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,13 \cdot 10^{-8}$
Murdoch	$T = 2,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,54 \cdot 10^{-7}$

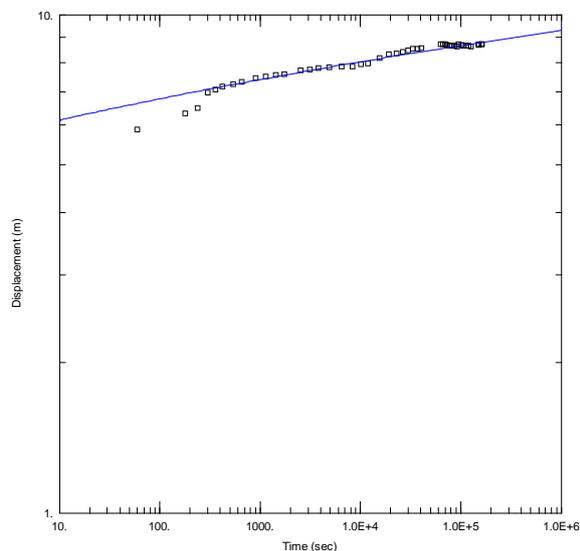


Abbildung 49: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/2 ausgewertet nach Theis

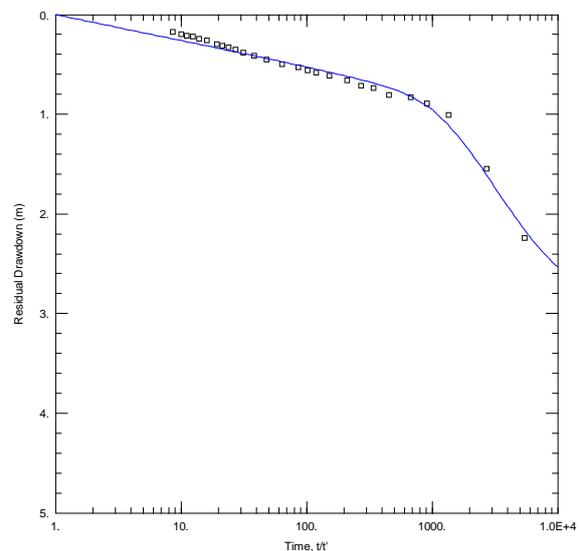


Abbildung 50: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/2 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

Die Werte für die Transmissivität liegen zwischen $1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $7,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten variieren von $2,05 \cdot 10^{-9}$ bis $3,16 \cdot 10^{-11}$ und sind folglich viel zu niedrig für einen gespannten Aquifer.

Die Ergebnisse für die Transmissivitäten des Wiederanstiegs unterscheiden sich ein wenig von denen der Absenkung. Die Werte liegen zwischen $2,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die berechneten Speicherkoeffizienten sind höher als die der 1. Phase, allerdings sind sie für einen gespannten Aquifer immer noch zu niedrig. Sie liegen zwischen $7,98 \cdot 10^{-7}$ und $5,13 \cdot 10^{-8}$. Der Wert S/S' deutet mit 2,54, wie zuvor bei 1983/1, auf eine Infiltrationsgrenze hin (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II von 1985

1. Phase von 1985

Tabelle 25: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II, 1985

Parameter 1985	Werte 1985
Mächtigkeit	8 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1 (85/1)	08.05.1985 09:15 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	10.05.1985 09:14 Uhr
Pumpstart Stufe 2 (85/2)	13.05.1985 09:30 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	30.07.1985 11:05 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	02.08.1985 06:40 Uhr

In der Absenkungskurve der 1. Phase des Pumpversuchs von 1985 ist am Anfang eine Abweichung zu erkennen und bei der Sekunde 2.000 hat die Kurve einen abrupten Versatz. Der weitere Kurvenverlauf ist flach bis hin zu gleichmäßig verlaufend (Abbildung 51). Die Förderrate war zunächst auf ca. 1,47 l/s eingestellt und wurde ab Sekunde 1.860 auf 2,00 l/s eingestellt. Im weiteren Verlauf des Pumpversuchs wurde die Förderrate daraufhin bis zu 1,80 l/s gesenkt. Die Wiederanstiegskurve zeigt einen interessanten Verlauf. Zunächst ist eine Abweichung zu erkennen, woraufhin eine relativ flache Steigung der Kurve folgt (Abbildung 53). Am Ende des Wiederanstiegs senkt sich der Wasserspiegel wieder ab.

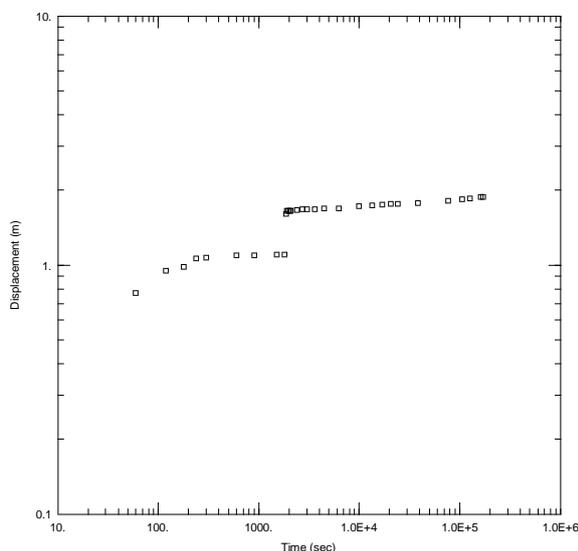


Abbildung 51: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/1

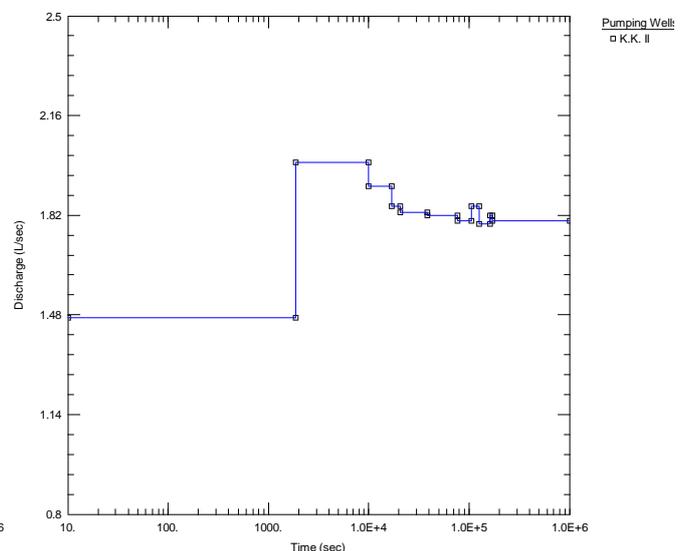


Abbildung 52: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung II, 1985/1

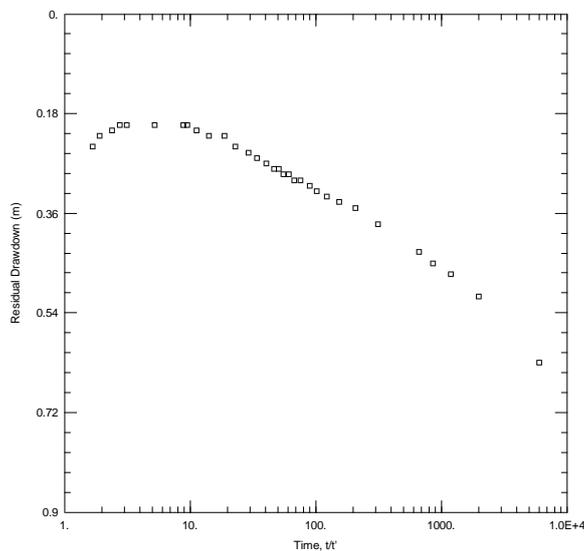


Abbildung 53: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/1

Die doppellogarithmische Darstellung der 1. Phase von 1985 zeigt eine übliche Absenkung eines gespannten Aquifers, also weder eine Infiltrationsgrenze noch eine Staugrenze (Abbildung 51) (vgl. Abbildung 13.1.b). Allerdings kann eine Staugrenze nicht ausgeschlossen werden, weil sich die Absenkung trotz Senkung der Förderrate leicht erhöht hat (Abbildung 52). Im Wiederanstieg ist ein Brunnenspeichereffekt sichtbar (vgl. Abbildung 13.2.d). Durch den Verlauf der Kurve zum Schluss hin wird eine Staugrenze nicht ausgeschlossen (vgl. Abbildung 13.1.d).

Tabelle 26: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 1,61 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,33 \cdot 10^{-5}$
Theis	$T = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,01 \cdot 10^{-5}$
Papadopulos&Cooper	$T = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,02 \cdot 10^{-6}$
Barker	$T = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,04 \cdot 10^{-7}$
Dougherty&Babu	$T = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,74 \cdot 10^{-7}$
Murdoch	$T = 1,65 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,29 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 27: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 2,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,52$
Papadopulos&Cooper	$T = 2,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,80 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 2,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,52 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,21 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,28 \cdot 10^{-2}$

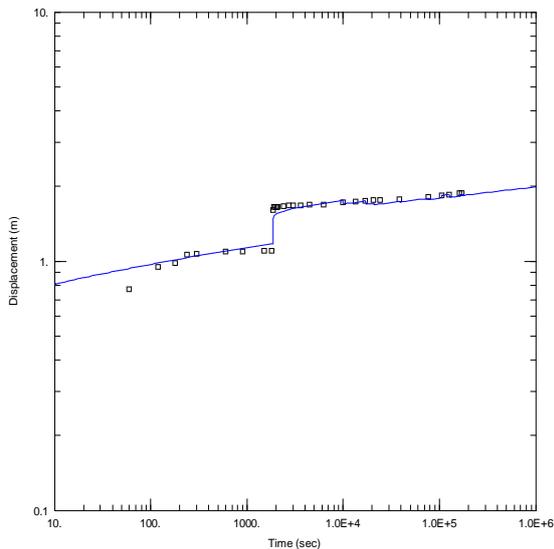


Abbildung 54: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/1 ausgewertet nach Theis

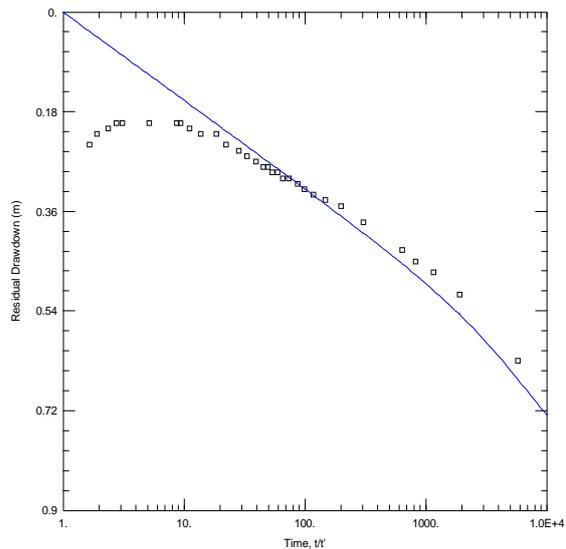


Abbildung 55: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/1 ausgewertet nach Barker

In der Absenkung sind die Werte für die Transmissivität zwischen $1,97 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,61 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und unterschieden sich somit kaum voneinander. Die Speicherkoeffizienten, die mit den Methoden Cooper&Jacob, Theis und Murdoch berechnet wurden, reichen von $4,33 \cdot 10^{-5}$ bis $1,29 \cdot 10^{-5}$ und sind für einen gespannten Aquifer typisch. Die restlichen Methoden ergeben Werte, die niedriger sind als für gespannte Aquifere typisch wäre.

Die Ergebnisse der Transmissivität, welche anhand der Wiederanstiegskurve berechnet wurden, unterscheiden sich kaum von denen der Absenkung. Die Werte liegen hier zwischen $2,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten sind ein wenig zu hoch für einen üblichen gespannten Aquifer. Sie liegen für alle Methoden zwischen $9,28 \cdot 10^{-2}$ und $3,80 \cdot 10^{-2}$. Der Wert von $0,52$ für S/S' deutet auf eine Barriere hin, was bei der Auswertung der Pumpversuche von 1983 nicht der Fall war (Duffield, 2007). Da sich die Absenkung trotz Förderrate weiter erhöht hat, ist eine Staugrenze nicht auszuschließen.

2. Phase von 1985

Der Kurvenverlauf der Absenkung des 2. Pumpversuchs von 1985 ähnelt dem 2. Pumpversuch von 1985 von Kaindorf Kopfung I. Die Absenkungskurve ist bis zu Sekunde 336.000 relativ eben. Danach schwankt die Absenkung zwischen 2,40 m und 3,00 m. Rund ab der Sekunde $3,99 \cdot 10^6$ fällt die Absenkung bis ca. 4,00 m und ist bis zum Ende des Pumpversuchs auf ca. 4,60 m (Abbildung 56). Die Förderrate während des Pumpversuchs steigt ab Sekunde 1.000 von 2,44 l/s auf fast 2,82 l/s und schwankt dann zwischen ca. 2,80 l/s und ca. 3,00 l/s. Ab ca. 4.409.220 Sekunden ist die Schüttung bereits auf 3,30 l/s und steigt bis zu 4,00 l/s an (Abbildung 57). Der Pumpversuch hatte eine Unterbrechung und musste daher von Null beginnen. Im Zuge dessen wurde die Pumprate dann höher gestellt, als sie es zu Beginn war. Die Wiederanstiegskurve hat einen steilen abweichenden Verlauf zu Beginn des Wiederanstiegs. Daraufhin hat die Kurve eine nicht allzu steile Steigung. Am Ende des Pumpversuchs bleibt die Wiederanstiegskurve eben (Abbildung 58).

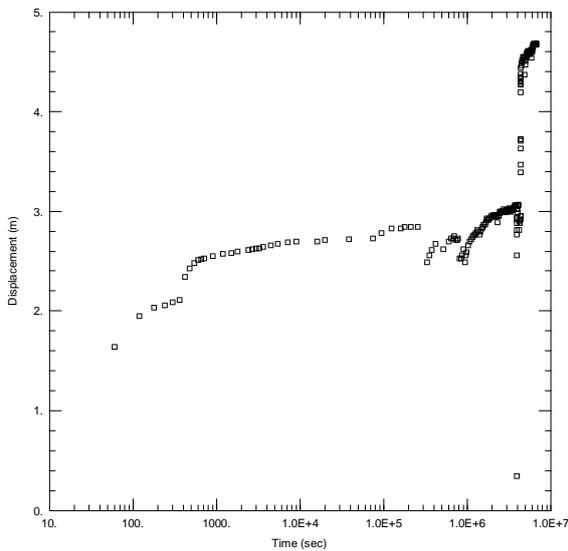


Abbildung 56: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/2

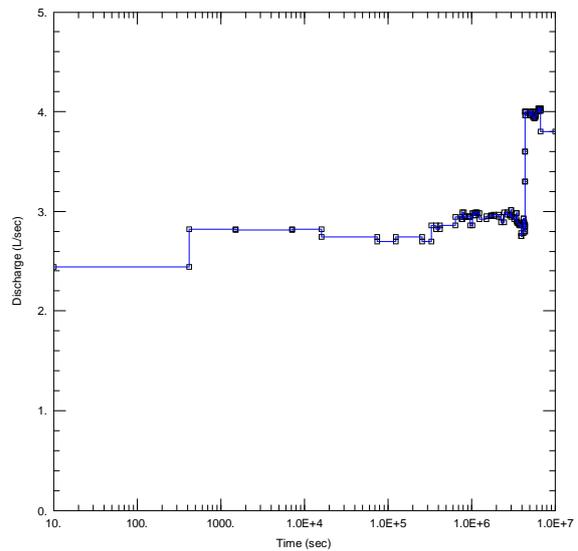


Abbildung 57: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung II, 1985/2

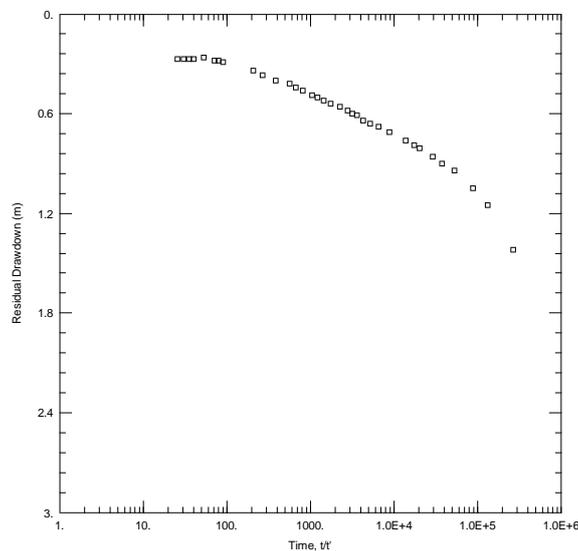


Abbildung 58: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/2

Aufgrund der Förderrate und dem Kurvenverlauf der Absenkung ist es am wahrscheinlichsten, dass eine Infiltrationsgrenze angetroffen wird (vgl. Abbildung 12 A' bzw. Abbildung 13.1.c). Ein Brunnenspeichereffekt ist ebenfalls ersichtlich (Abbildung 56) (vgl. Abbildung 13.2.c). Die Wiederanstiegskurve hat ebenfalls einen Brunnenspeichereffekt sowie eine Infiltrationsgrenze gezeigt (Abbildung 58) (vgl. Abbildung 13.1.d und vgl. Abbildung 13.2.d).

Tabelle 28: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,38 \cdot 10^{-13}$
Theis	$T = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,25 \cdot 10^{-13}$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,59 \cdot 10^{-14}$
Barker	$T = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,38 \cdot 10^{-13}$
Dougherty&Babu	$T = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,25 \cdot 10^{-13}$
Murdoch	$T = 3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,26 \cdot 10^{-13}$

Tabelle 29: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 2,92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 8,64$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,06 \cdot 10^{-7}$
Barker	$T = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,54 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 3,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,83 \cdot 10^{-7}$
Murdoch	$T = 3,98 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,87 \cdot 10^{-10}$

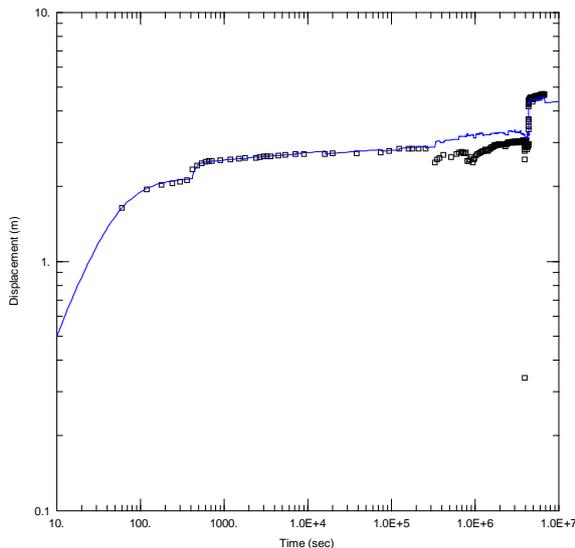


Abbildung 59: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/2 ausgewertet nach Barker

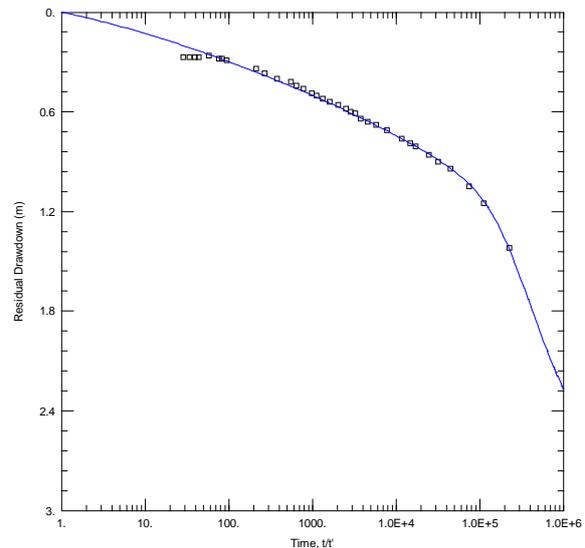


Abbildung 60: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/2 ausgewertet nach Barker

Die Ergebnisse der Absenkung für die Transmissivität liegen zwischen $3,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten variieren mit einer Ausnahme zwischen $3,38 \cdot 10^{-13}$ und $3,25 \cdot 10^{-13}$. Die Ausnahme bildet die Auswertung mit der Methode Papadopulos&Cooper mit einem Wert von $4,59 \cdot 10^{-14}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten sind ungewöhnlich niedrig für einen gespannten Aquifer.

Die Auswertung des Wiederanstiegs hat für die Transmissivität Werte zwischen $4,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ergeben. Die Werte für den Speicherkoeffizienten sind entweder zu hoch oder zu niedrig für einen typischen gespannten Aquifer. Der Wert, der mit der Methode Barker berechnet wurde, passt aber noch am ehesten zu einem gespannten Aquifer und hat $2,54 \cdot 10^{-2}$ ergeben. In diesem Fall ist der Wert für S/S' 8,64, was zu den Werten von der 1. Phase von 1983 passt und eine Infiltrationsgrenze bedeutet (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III bzw. West von 1985

1. Phase

Tabelle 30: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III, 1985

Parameter 1985	Werte 1985
Mächtigkeit	17,5 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1 (85/1)	08.07.1985 11:42 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	10.07.1985 13:15 Uhr
Pumpstart Stufe 2 (85/2)	11.07.1985 10:30 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	13.07.1985 14:30 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	14.07.1985 18:30 Uhr

Die Absenkungskurve hat zu Beginn des Pumpversuchs eine abweichende Steigung (Abbildung 61). Daraufhin folgt ein kleiner Sprung bei Sekunde 1.200. Danach wird die Absenkung gleichmäßig höher und zeigt in der Absenkungskurve eine steile Steigung. Die Förderrate wird von 1,50 l/s auf 1,60 l/s bei Sekunde 2.280 erhöht. (Abbildung 62). Der Wiederanstieg hat in der Darstellung einen flachen Kurvenverlauf, der zu einer steilen Steigung übergeht (Abbildung 63).

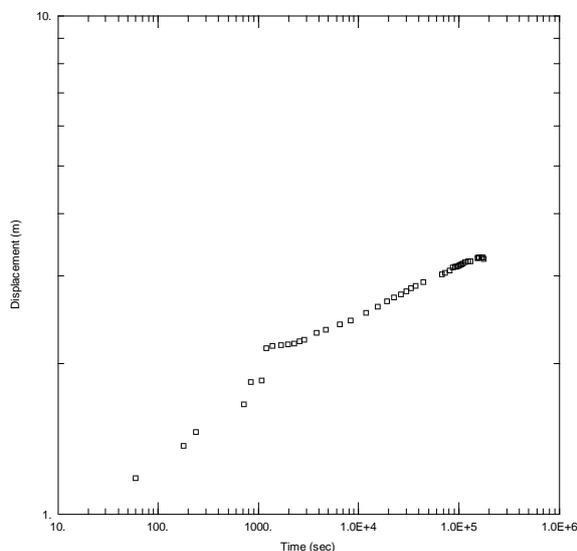


Abbildung 61: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/1

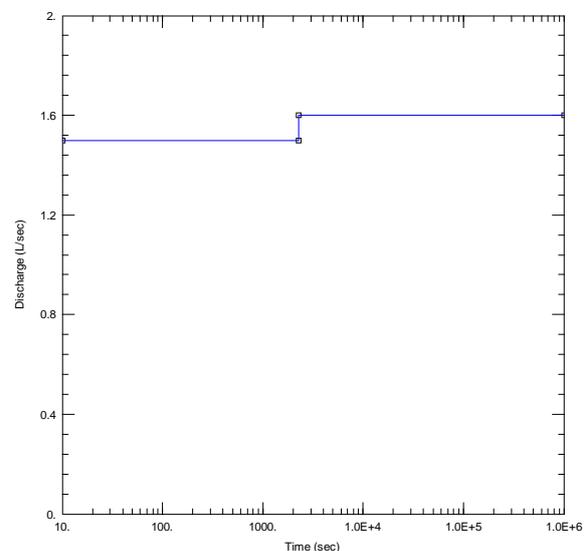


Abbildung 62: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung III, 1985/1

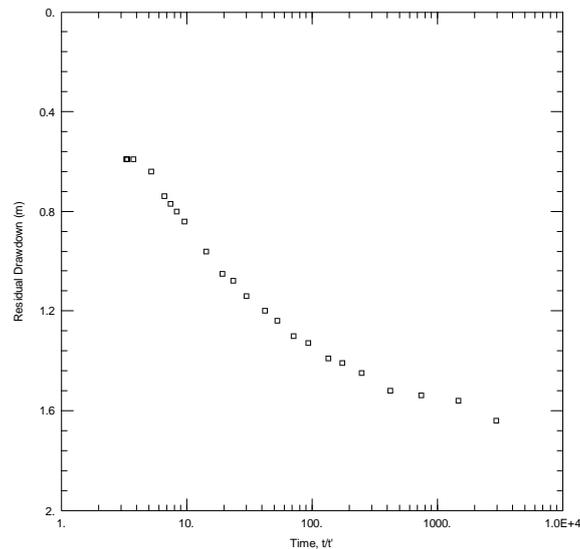


Abbildung 63: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/1

Die Absenkung hat in den Darstellungen einen Brunnenspeichereffekt gezeigt (Abbildung 61) (vgl. Abbildung 13.2.b). Des Weiteren ist eine Staugrenze zu sehen (vgl. Abbildung 13.1.b). Der Wiederanstieg spiegelt das gleiche Bild wider. Auch in der Wiederanstiegskurve sind sowohl Staugrenze als auch Brunnenspeichereffekt sichtbar (vgl. Abbildung 13.1.d und vgl. Abbildung 13.2.d).

Tabelle 31: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 5,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,38 \cdot 10^{-2}$
Theis	$T = 5,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,13 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 6,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,22 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 5,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,00 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 5,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,04 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 4,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,91 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 32: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 5,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,23$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Barker	$T = 5,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,66 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 3,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Murdoch	$T = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,13 \cdot 10^{-1}$

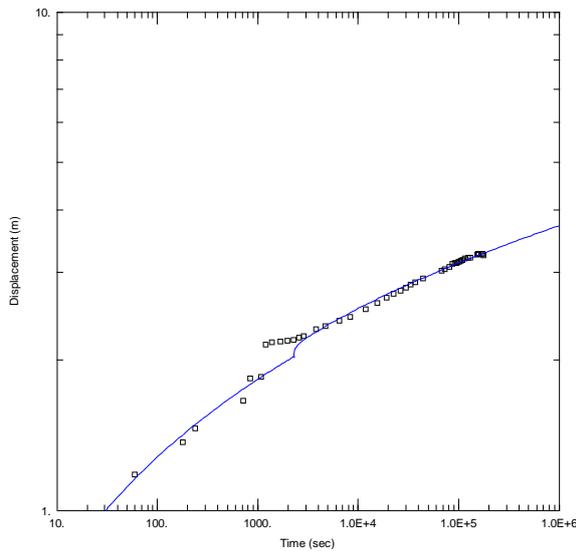


Abbildung 64: Doppelloarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/1 ausgewertet nach Murdoch

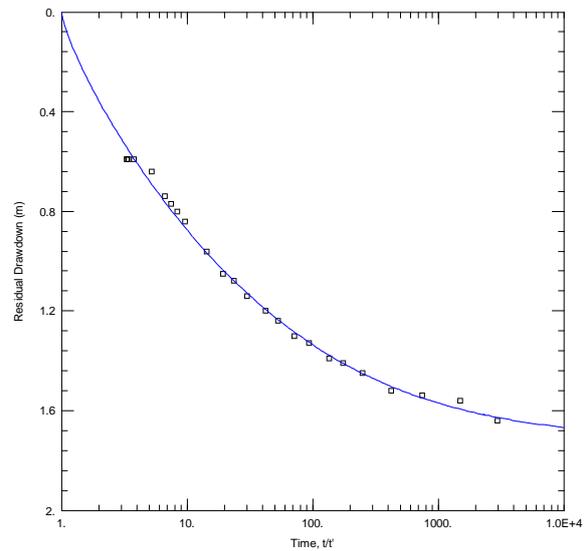


Abbildung 65: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/1 ausgewertet nach Barker

Die Werte für die Transmissivität liegen bei der Auswertung der Absenkung zwischen $6,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $4,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten liegen größtenteils zwischen $5,04 \cdot 10^{-2}$ und $2,00 \cdot 10^{-2}$. Der Wert, der mit der Methode Papadopulos&Cooper berechnet wurde, liegt bei $4,22 \cdot 10^{-3}$ und der mit Murdoch berechnete Wert bei $2,91 \cdot 10^{-3}$.

Die Ergebnisse für die Transmissivität für den Wiederanstieg liegen ebenfalls in derselben Größenordnung wie die Werte der Absenkung und liegen zwischen $5,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Der Speicherkoeffizient, der einen Wert von 0,1 hat, ist viel zu hoch für einen gespannten Aquifer. Mit der Methode Barker ist der passendste Wert berechnet worden, und zwar $9,66 \cdot 10^{-2}$. Der Wert S/S' mit 0,23 besagt eine Staugrenze (Duffield, 2007).

2. Phase von 1985

Es besteht eine sehr große Ähnlichkeit zwischen der Absenkung von der 1. Phase von 1985 und der 2. Phase von 1985. Auch hier ist am Anfang des Pumpversuchs die steile Abweichung der Kurve erkennbar. Anschließend steigt die Absenkungskurve steil an (Abbildung 66). Die Wiederanstiegskurve ist in dieser Phase noch etwas steiler als in der 1. Phase von 1985. Die Abweichung zu Beginn des Wiederanstiegs ist in dieser Kurve nicht so gut erkennbar (Abbildung 67).

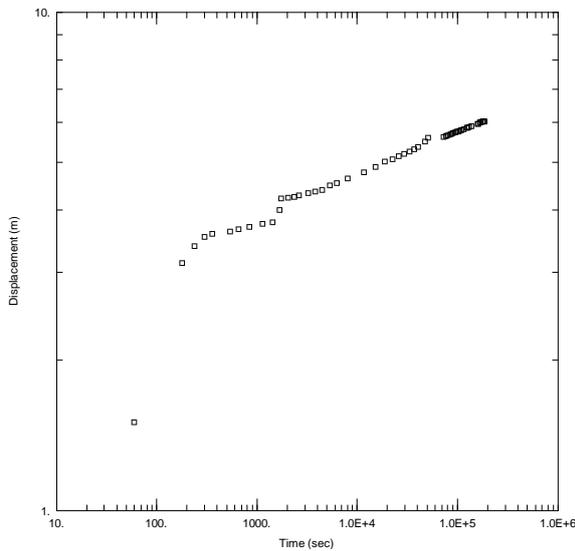


Abbildung 66: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/2

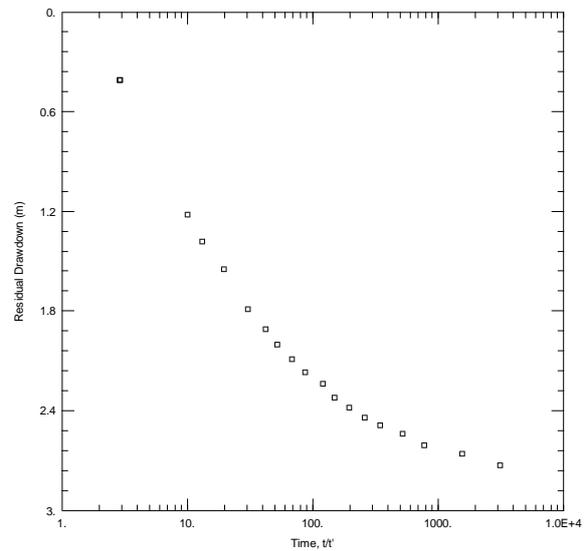


Abbildung 67: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/2

In der Darstellung der Absenkung ist deutlich eine Infiltrationsgrenze zu sehen (Abbildung 66) (vgl. Abbildung 13.1.b). Der Brunnenspeichereffekt ist in der Absenkungsdarstellung gegeben, jedoch sieht man diesen nicht so stark in der Wiederanstiegskurve (vgl. Abbildung 13.2.b und vgl. Abbildung 13.2.d). Die Infiltrationsgrenze ist ebenfalls in der Wiederanstiegskurve ausgeprägt dargestellt (Abbildung 67). Im Vergleich zur 1. Phase blieb in der 2. Phase die Förderrate konstant auf 3,00 l/s (vgl. Abbildung 13.2.d).

Tabelle 33: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 5,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,19 \cdot 10^{-2}$
Theis	$T = 5,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,41 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 6,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,85 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,29 \cdot 10^{-3}$
Dougherty&Babu	$T = 5,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,18 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 5,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,20 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 34: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 5,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,59$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,70 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 4,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,17 \cdot 10^{-1}$
Dougherty&Babu	$T = 4,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Murdoch	$T = 4,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,98 \cdot 10^{-2}$

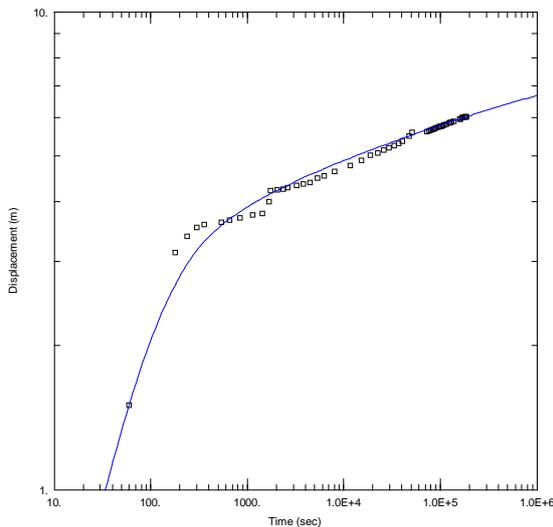


Abbildung 68: Doppelloarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/2 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

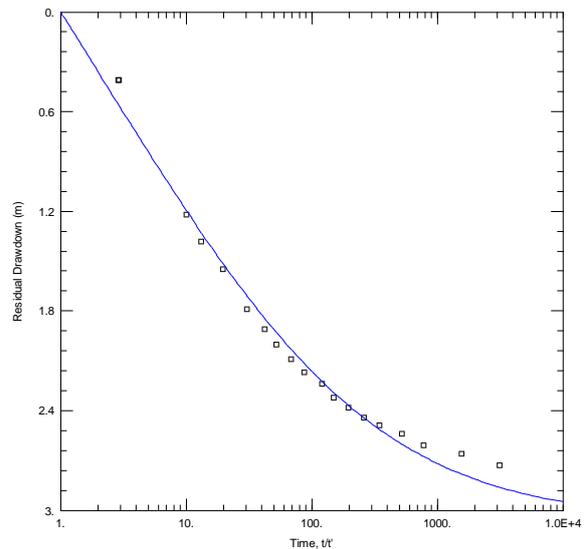


Abbildung 69: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/2 ausgewertet nach Barker

Die Werte für die Transmissivität reichen von $6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $5,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte, die mit den Methoden Papadopulos&Cooper, Barker und Murdoch berechnet wurden, haben jeweils $4,85 \cdot 10^{-3}$, $4,29 \cdot 10^{-3}$ und $4,20 \cdot 10^{-3}$ ergeben. Die restlichen Methoden haben einen Speicherkoeffizienten von $4,19 \cdot 10^{-2}$ bis $2,18 \cdot 10^{-2}$ ergeben und sind ein wenig hoch für einen gespannten Aquifer.

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs unterscheiden sich ein kaum von denen der Absenkung. Die Werte reichen von $5,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $4,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten variieren stark und sind im Allgemeinen zu hoch für einen gespannten Aquifer. Am besten passt der Wert, der mit der Methode Papadopulos&Cooper ($S = 7,70 \cdot 10^{-2}$) berechnet wurde. Es liegt laut dem Wert von S/S' , der bei 1,42 liegt, eine Staugrenze vor (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III bzw. West von 1986

1. Phase von 1986

Tabelle 35: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III, 1986

Parameter 1986	Werte 1986
Mächtigkeit	17,5 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1 (86/1)	29.07.1986 09:16 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	01.08.1986 08:40 Uhr
Pumpstart Stufe 2 (86/2)	04.08.1986 10:00 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	13.10.1986 09:00 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	20.10.1986 07:35 Uhr

Der Kurvenverlauf der 1. Phase von 1986 hat einen etwas größeren Sprung, welcher mit einem roten Kreis in der halblogarithmischen Darstellung markiert ist (Abbildung 70). Dieser Sprung ist durch die Steigerung der Förderrate bedingt. Die weiteren 2 Abweichungen, die durch einen blauen und grünen Kreis gekennzeichnet sind, sind aufgrund eines Stromausfalls vorhanden (Abbildung 70). Zu Beginn des Pumpversuchs ist eine Abweichung der Kurve zu erkennen. Durch die Unterbrechungen ist es schwierig den genauen Verlauf der Kurve zu erkennen, aber es liegt eine steigende Tendenz vor. Die Förderrate ist zu Beginn auf 0,63 l/s eingestellt gewesen und wird nach bereits 180 Sekunden auf 0,93 l/s erhöht. Nach Sekunde 2.940 ist sie auf 1,40 l/s und schwankt dann nur mehr zwischen 1,40 l/s und 1,50 l/s (Abbildung 71). Der Wiederanstieg hat zu Beginn des Kurvenverlaufs einen für einen gespannten Aquifer typischen Verlauf. Ab der 2. Hälfte der Kurve wird die Steigung aber steiler (Abbildung 72).

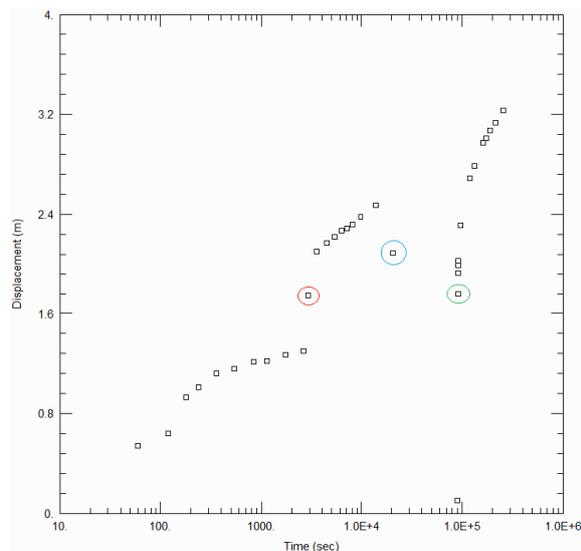


Abbildung 70: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/1 – roter Kreis: Schüttungserhöhung; blauer Kreis: Stromausfall; grüner Kreis: Ende des Stromausfalls

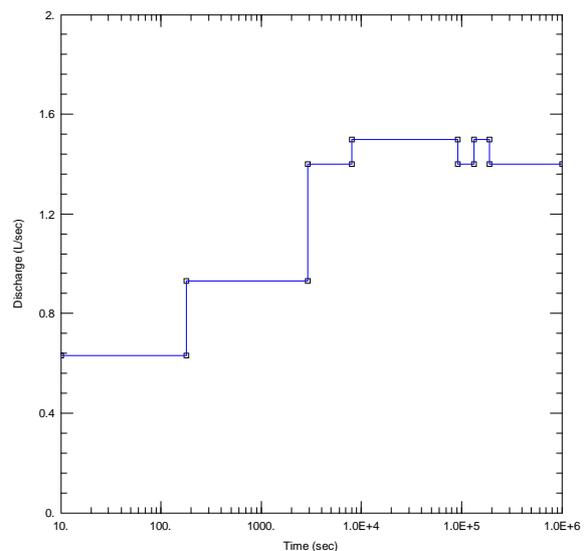


Abbildung 71: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung III, 1986/1

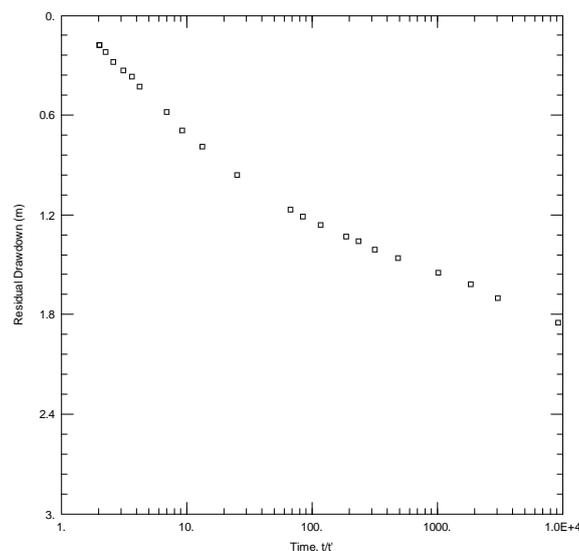


Abbildung 72: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/1

Ein Brunnenspeichereffekt ist in der Absenkungskurve vorhanden (vgl. Abbildung 13.2.b). Trotz der Unterbrechungen im Kurvenverlauf der Absenkung ist eine Staugrenze sichtbar (Abbildung 70) (vgl. Abbildung 13.1.b). In der Wiederanstiegskurve wird durch die steile Kurve ebenfalls eine Staugrenze angezeigt (vgl. Abbildung 13.1.d). Die anfängliche Kurve verläuft flacher und hat eigentlich einen Verlauf, der für einen typischen gespannten Aquifer üblich wäre (vgl. Abbildung 13.1.d).

Tabelle 36: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 5,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,98 \cdot 10^{-3}$
Theis	$T = 9,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,21 \cdot 10^{-6}$
Papadopulos&Cooper	$T = 7,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,68 \cdot 10^{-4}$
Barker	$T = 6,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,40 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 7,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,11 \cdot 10^{-4}$
Murdoch	$T = 6,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,26 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 37: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis 1. Steigung	$T = 7,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,78 \cdot 10^{-2}$
Theis 2. Steigung	$T = 3,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,17$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,01 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 3,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,05 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 3,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,10 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 4,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,32 \cdot 10^{-2}$

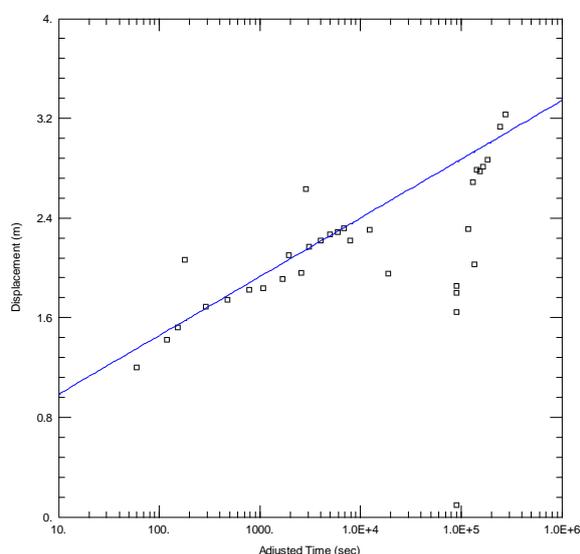


Abbildung 73: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/1 ausgewertet nach Cooper&Jacob

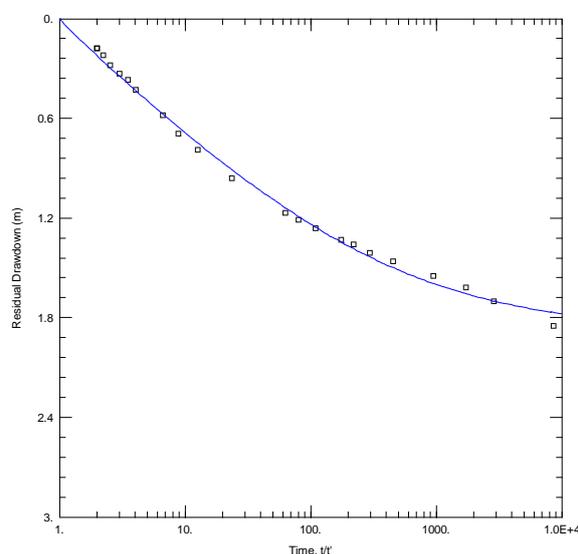


Abbildung 74: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/1 ausgewertet nach Barker

In der Absenkung liegen für die Transmissivität Werte zwischen $9,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $5,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ vor. Der Speicherkoeffizient liegt, berechnet mit der Methode Cooper&Jacob, bei $9,98 \cdot 10^{-3}$. Für die Methoden Papadopulos&Cooper, Barker und Dougherty&Babu liegen die Werte jeweils bei $1,68 \cdot 10^{-4}$, $7,40 \cdot 10^{-4}$ und $4,11 \cdot 10^{-4}$. Die

Werte, die nach Theis und Murdoch berechnet wurden, sind für einen gespannten Aquifer zu niedrig.

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs sind zwischen $7,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten reichen von $8,01 \cdot 10^{-2}$ bis $1,05 \cdot 10^{-2}$. Da 2 Steigungen berechnet wurden, gibt es 2 Werte für S/S'. Zum einen $1,78 \cdot 10^{-2}$ (<1 = Barriere) für die 1. Steigung und zum anderen $1,17$ (>1 = Infiltration) für die 2. Steigung (Duffield, 2007).

2. Phase von 1986

In der 2. Phase von 1986 ist am Anfang der Absenkungskurve eine steile, abweichende Gerade zu erkennen, danach ist der Verlauf der Kurve durch eine steile und gleichmäßige Steigung gekennzeichnet (Abbildung 73). Der Wiederanstieg hat im Kurvenverlauf 3 Steigungen, die alle relativ steil verlaufen (Abbildung 74).

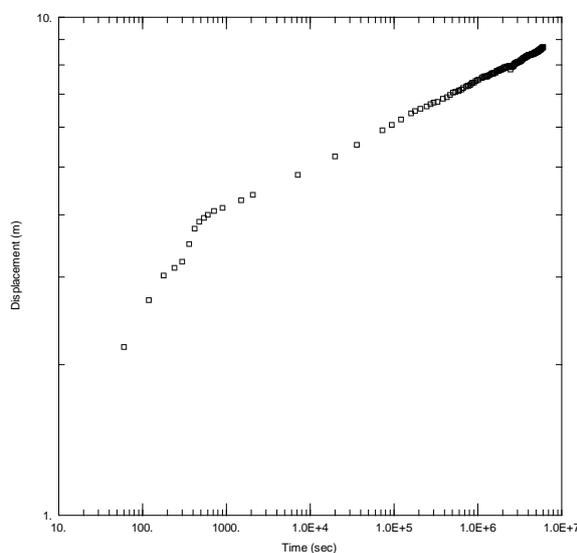


Abbildung 75: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/2

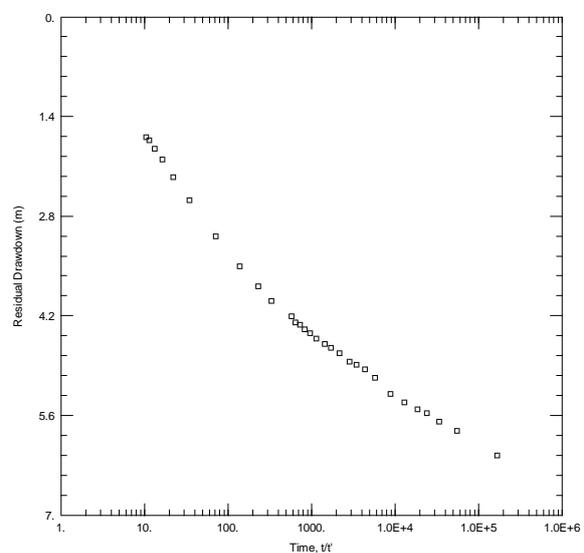


Abbildung 76: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/2

Im 2. Pumpversuch von 1986 ist das Vorhandensein einer Staugrenze noch deutlicher in der Absenkungskurve erkennbar als in der 1. Phase von 1986 (Abbildung 73) (vgl. Abbildung 13.1.b). Auch der Brunnenspeichereffekt ist sehr gut zu sehen (vgl. Abbildung 13.2.b). Im Wiederanstieg sind 3 Steigungen sichtbar, wobei es sich bei der 1. Steigung (von Beginn des Wiederanstiegs) auch um einen Brunnenspeichereffekt handeln könnte. Alle 3 Steigungen sind allerdings so steil, dass sie ein Hinweis für eine Staugrenze sind (Abbildung 74) (vgl. Abbildung 13.1.d und vgl. Abbildung 13.2.d).

Tabelle 38: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,86$
Theis	$T = 4,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,33 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,62 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,07 \cdot 10^{-3}$
Dougherty&Babu	$T = 3,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,23$
Murdoch	$T = 3,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,26 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 39: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis 1. Steigung	$T = 7,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,53 \cdot 10^{-4}$
Theis 2. Steigung	$T = 6,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 4,32 \cdot 10^{-3}$
Theis 3. Steigung	$T = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,81$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Barker	$T = 3,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,08 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 3,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,25 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,70 \cdot 10^{-2}$

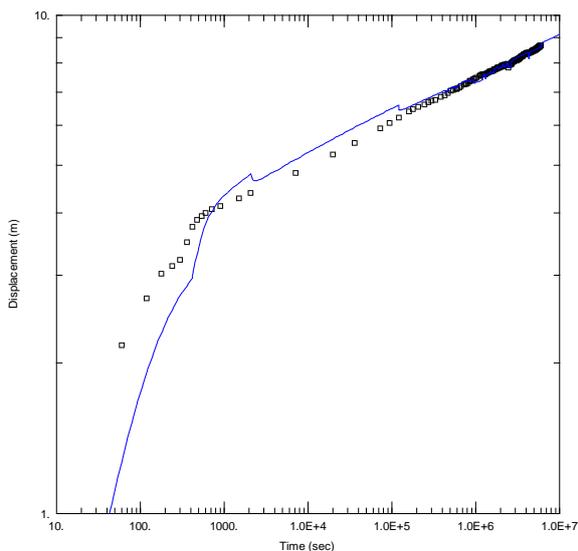


Abbildung 77: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/2 ausgewertet nach Barker

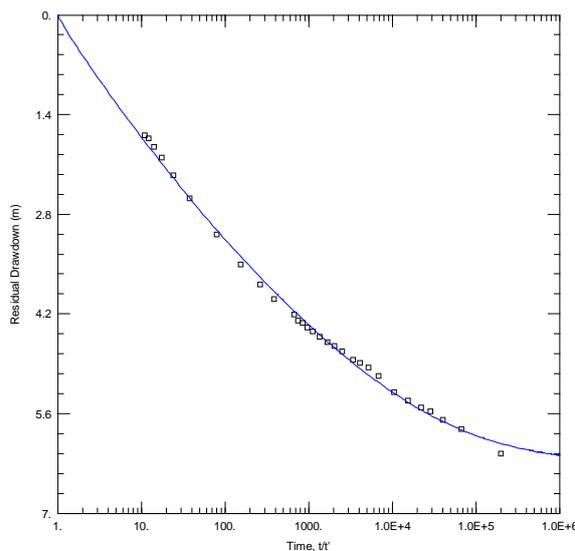


Abbildung 78: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/2 ausgewertet nach Barker

Die Werte für die Transmissivität gehen von $4,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $2,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten sind, wie im 1. Pumpversuch von 1986, etwas unterschiedlich. Zum einen liegen die Werte bei $3,62 \cdot 10^{-2}$ (Papadopulos&Cooper) und $5,33 \cdot 10^{-2}$ (Theis), zum anderen bei $1,18 \cdot 10^{-4}$ (Barker) und $1,29 \cdot 10^{-4}$ (Murdoch). Die Methoden Cooper&Jacob sowie Dougherty&Babu ergaben viel zu hohe Werte für einen gespannten Aquifer.

Die Ergebnisse für die Transmissivitäten liegen beim Wiederanstieg zwischen $7,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte des Speicherkoeffizienten sind zwischen $7,25 \cdot 10^{-2}$ und $1,70 \cdot 10^{-2}$. Der Wert, der nach Papadopulos&Cooper berechnet worden ist, ist mit 0,1 viel zu hoch für einen gespannten Aquifer. Es sind 3 unterschiedliche Werte für S/S' bestimmt worden, da es 3 Steigungen gibt. Alle 3 Steigungen haben einen Wert für S/S' , der einer Staugrenze entspricht (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Gnies III

Tabelle 40: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Gneis III

Parameter	Werte
Mächtigkeit	8,5 m
Radius der Bohrung	0,156 m
Radius des Filterrohrs	0,075 m
Auslaufversuch	21.06.1994 13:10 Uhr
Pumpstart	23.06.1994 09:31 Uhr
Pumpende/Start der Wiederanstiegsaufzeichnung	29.07.1994 08:43 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	15.08.1994 19:00 Uhr

In der halblogarithmischen Darstellung der Absenkung ist ein Ausreißer mit einem roten Kreis markiert, der höchstwahrscheinlich mit Stromausfällen zusammenhängt (Abbildung 79). Der vertikale Verlauf anfänglich der Absenkungskurve hängt mit der Schüttung und der Zeit zusammen. Denn die Abstichmessungen wurden erst ab der Sekunde 159.660 durchgeführt. Der Grund dafür ist, dass der Brunnen einen freien Überlauf hatte. Dadurch befindet sich das Intervall der Zeit Log-Achse nur zwischen $1 \cdot 10^5$ und $1 \cdot 10^7$ Sekunden. Die Schüttung ist von 2,00 l/s auf 5,00 l/s erhöht worden (Abbildung 80). Der weitere Kurvenverlauf hat eine relativ flache Steigung. Zu Beginn des Wiederanstiegs verläuft die Kurve relativ flach und verläuft anschließend ohne besondere Merkmale (Abbildung 81).

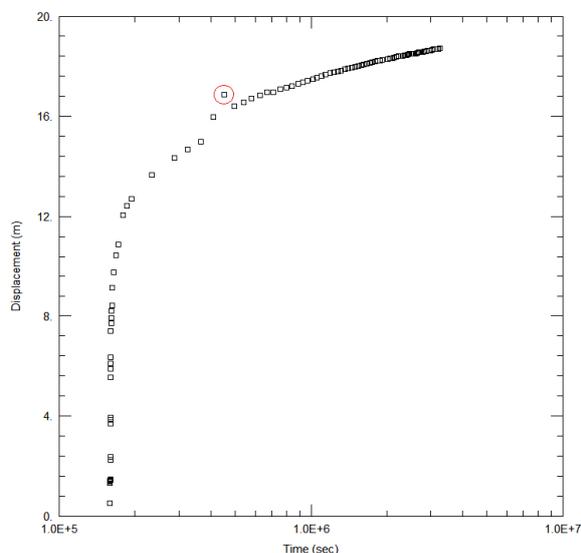


Abbildung 79: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Gnies III

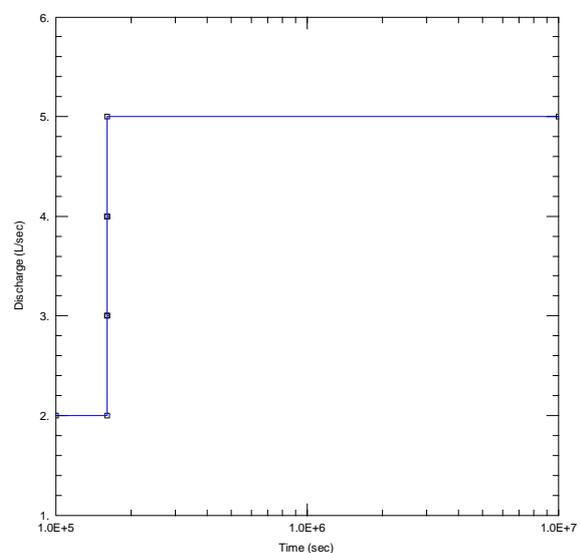


Abbildung 80: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Sinabelkirchen/Gnies III

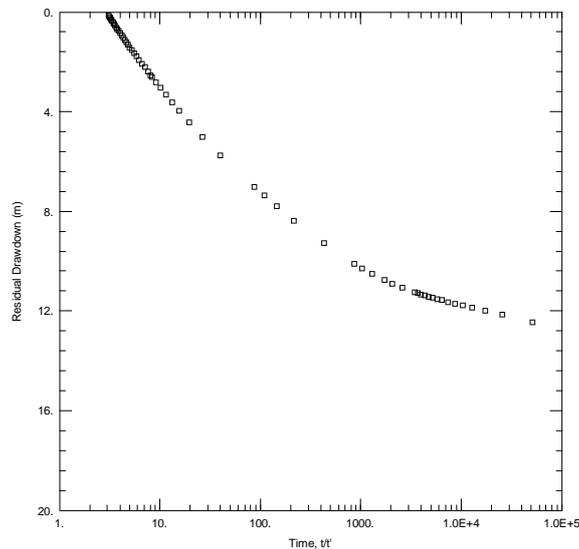


Abbildung 81: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Gnies III

Bei der Absenkung ist, bedingt durch den relativ flachen Verlauf der Kurve, eine Infiltrationsgrenze erkennbar (Abbildung 79) (vgl. Abbildung 12 A' und vgl. Abbildung 13.1.c). Der Brunnenspeichereffekt kann aufgrund der Darstellung nicht ausgeschlossen werden (vgl. Abbildung 13.2.c). Die Wiederanstiegskurve hat eine leichte Abweichung am Anfang des Wiederanstiegs, welcher auf einen Brunnenspeichereffekt hindeuten kann (Abbildung 81) (vgl. Abbildung 13.2.d). Der restliche Verlauf der Kurve ist ohne besondere Auffälligkeiten (vgl. Abbildung 13.1.d). Die Aquifermächtigkeit musste für die Auswertung in AQTESOLV auf 19 m geändert werden.

Tabelle 41: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Gnies III

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 4,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,45 \cdot 10^{-4}$
Theis	$T = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,96 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,63 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 3,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,13 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 2,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,74 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 2,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,95 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 42: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Gnies III

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 1,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 2,97$
Papadopulos&Cooper	$T = 2,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,13 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,32 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 2,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,00 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 3,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,06 \cdot 10^{-3}$

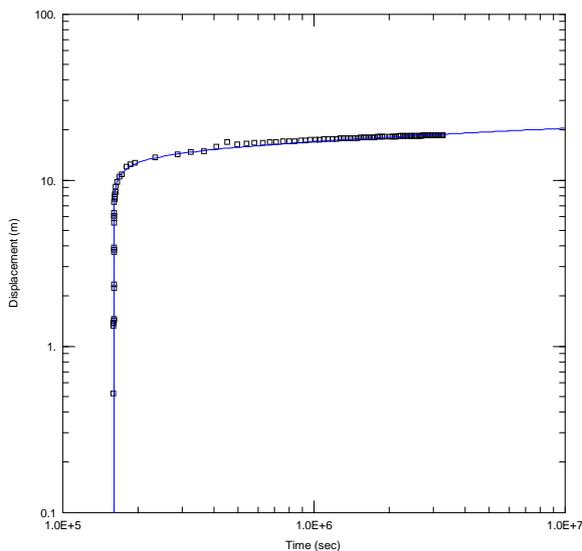


Abbildung 82: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Sinabelkirchen/Gnies III ausgewertet nach Dougherty&Babu

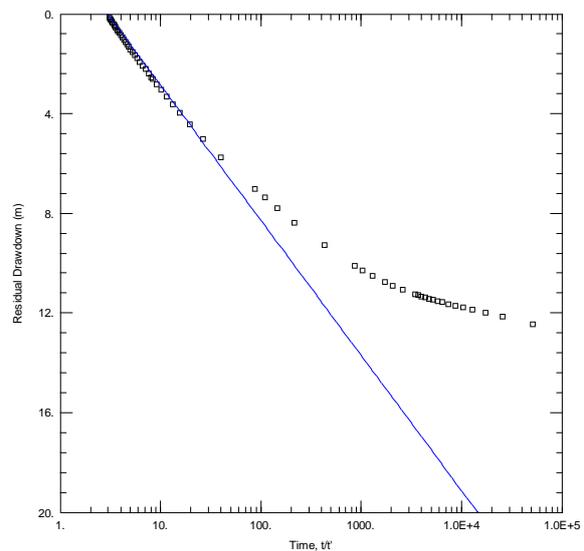


Abbildung 83: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Sinabelkirchen/Gnies III ausgewertet nach Theis

Die berechneten Werte für die Transmissivität der Absenkung sind zwischen $4,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten, die mit den Methoden Dougherty&Babu sowie Murdoch berechnet wurden, sind am geeignetsten für einen gespannten Aquifer. Mit der Methode Dougherty&Babu ist ein Wert von $5,74 \cdot 10^{-3}$ berechnet worden und mit Murdoch $8,95 \cdot 10^{-3}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten sind tlw. zu hoch. Mit den Methoden Papadopulos&Cooper, Barker und Dougherty&Babu ist jeweils $9,13 \cdot 10^{-2}$, $2,32 \cdot 10^{-2}$ und $9,00 \cdot 10^{-2}$ rausgekommen. Die Auswertung, die mit der Methode Murdoch ausgewertet wurde liegt bei $8,06 \cdot 10^{-3}$. Der Wert von S/S' liegt bei 2,97 und bedeutet eine Infiltrationsgrenze hin (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Markt Hartmannsdorf

Tabelle 43: Parameter und Werte des Pumpversuchs Markt Hartmannsdorf

Parameter	Werte
Mächtigkeit	7,5 m
Radius der Bohrung	0,160 m
Radius des Filterrohrs	0,100 m
Pumpstart Stufe 1	05.07.1989 12:07 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	05.07.1989 12:30 Uhr
Pumpstart Stufe 2	05.07.1989 12:45 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	07.07.1989 09:25 Uhr
Pumpstart Stufe 3	11.07.1989 10:17 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 3	14.07.1989 10:20 Uhr

Die 1. Phase des Pumpversuchs musste aufgrund eines Defekts bereits nach 23 Minuten abgebrochen werden. Daraufhin wurde der Wiederanstieg für 15 Minuten gemessen. Die Förderrate lag gleichbleibend bei 0,5 l/s. Die Darstellung der 1. Phase ist daher leider

nicht so leicht zu beschreiben. Es ist aber ein gerader und kein „gewölbter“ Anstieg der Absenkungskurve zu erkennen (Abbildung 84). Die Kurve des Wiederanstiegs ist gleichmäßiger als die der Absenkung und verläuft ohne weitere Besonderheiten (Abbildung 85).

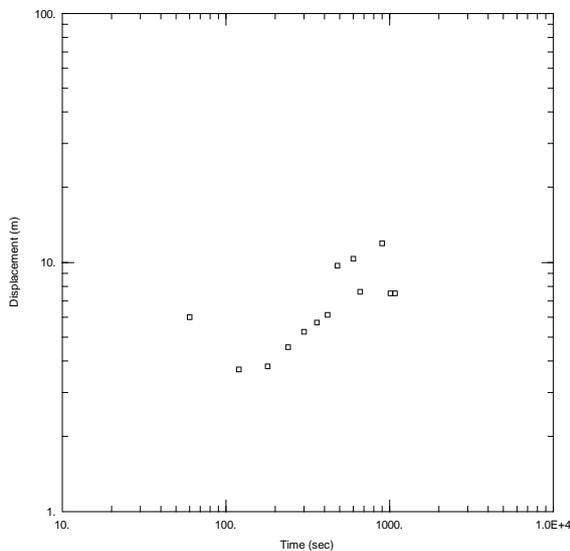


Abbildung 84: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe

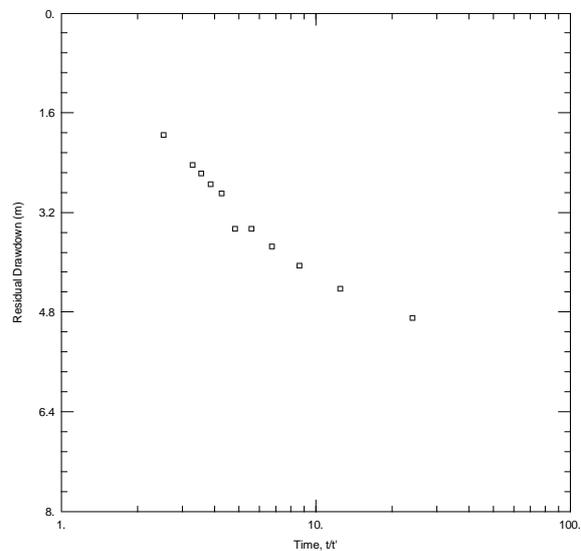


Abbildung 85: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe

In der Absenkung sowie dem Wiederanstieg ist die Interpretation etwas schwierig, da der Pumpversuch nur so kurz anhielt (Abbildung 84) (Abbildung 85). Der steile Anstieg der doppellogarithmischen Darstellung kann aufgrund eines Brunnenspeichereffekts vorhanden sein (vgl. Abbildung 13.2.b). Die Mächtigkeit musste aufgrund des Programms AQTESOLV auf 12 m erhöht werden, da sonst keine Auswertung möglich gewesen wäre. Das Filterrohr erstreckt sich über 31,00 m und aufgrund der wasserführenden Schichten ist eine Erhöhung der Mächtigkeit im Programm sinnvoll.

Tabelle 44: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 1. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 1,40 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,13 \cdot 10^{-2}$
Theis	$T = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,22 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 6,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,98 \cdot 10^{-10}$
Barker	$T = 7,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,71 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 2,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,55 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,70 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 45: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 1. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 2,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,86$
Papadopulos&Cooper	$T = 6,45 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,17 \cdot 10^{-4}$
Barker	$T = 1,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,97 \cdot 10^{-5}$
Dougherty&Babu	$T = 2,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,12 \cdot 10^{-4}$
Murdoch	$T = 1,87 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,68 \cdot 10^{-3}$

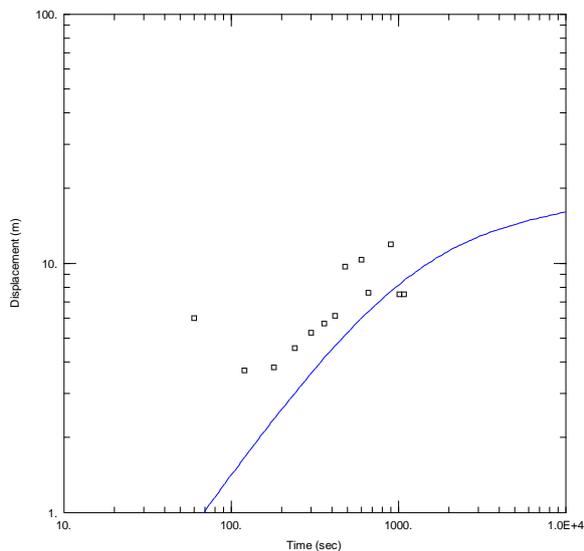


Abbildung 86: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe ausgewertet nach Dougherty&Babu

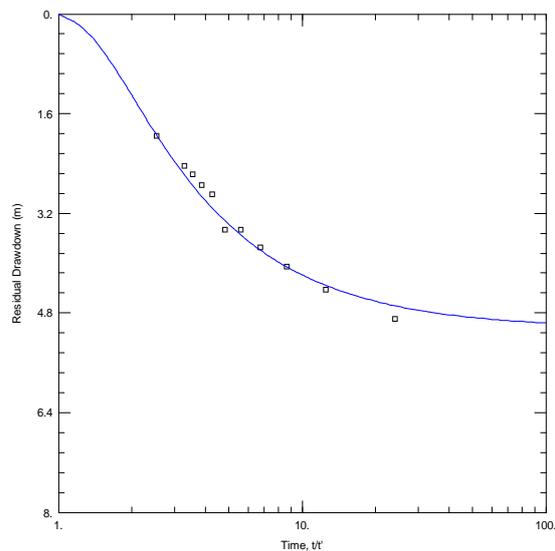


Abbildung 87: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

Die Ergebnisse für die Transmissivität und den Speicherkoeffizienten können nicht für den gesamten Aquifer repräsentativ sein, da es sich um einen sehr kurzen Pumpversuchen handelt. Für die anfängliche Steigung der Absenkungskurve betragen die Werte für die Transmissivität von $7,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $1,40 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ergeben. Die Werte für den Speicherkoeffizienten liegen mit einer Ausnahme zwischen $8,13 \cdot 10^{-2}$ und $1,70 \cdot 10^{-3}$.

Der Wiederanstieg hat für die Transmissivität mit einer Ausnahme Werte zwischen $6,45 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,87 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ergeben. Die Ausnahme bildet die Berechnung nach der Methode Barker und ergibt $1,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten sind nicht einheitlich. Es wurden die Werte $7,68 \cdot 10^{-3}$ (Murdoch), $8,17 \cdot 10^{-4}$ (Papadopulos&Cooper), $1,12 \cdot 10^{-4}$ (Dougherty&Babu), $1,97 \cdot 10^{-5}$ (Barker) berechnet. Alle Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten liegen in einem annehmbaren Bereich für einen gespannten Aquifer. Der Wert für S/S' ergibt in der 1. Phase 0,86, was auf eine Barriere hindeutet. Da der Pumpversuch so abrupt abgebrochen wurde, sind dies aber keine repräsentativen Werte für den gesamten Aquifer. Es kann sich auch um einen Brunnenspeichereffekt handeln (Duffield, 2007).

2. Phase

Die 2. Stufe wurde mit einer geplanten Beendigung abgebrochen. Die Förderrate änderte sich bei den letzten 3 Messungen von 0,40 l/s auf 0,30 l/s (Abbildung 89). Der anfängliche Kurvenverlauf der Absenkung ist dem Kurvenverlauf der 1. Phase ähnlich. Denn auch hier ist der steile Anstieg zu Beginn sichtbar. Daraufhin ist der Kurvenverlauf eben und die Absenkung sinkt wieder leicht (Abbildung 88). Zunächst verläuft die Wiederanstiegskurve flacher und wird mit der Zeit steiler (Abbildung 90). Die Kurve sieht leicht „s“-förmig aus bzw. zunächst flach, dann leicht eben und daraufhin steil.

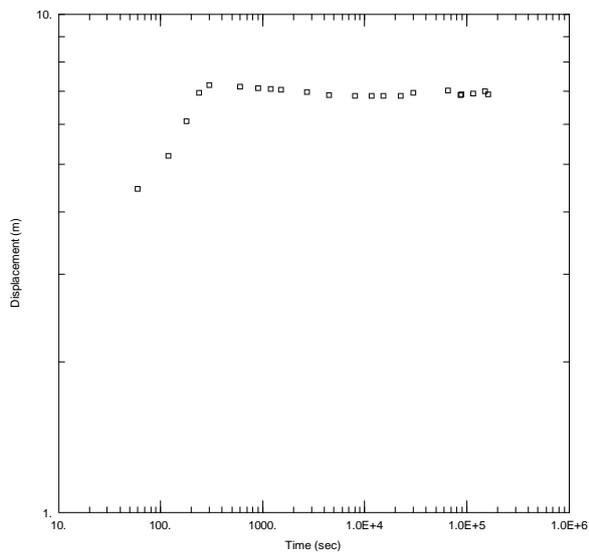


Abbildung 88: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase

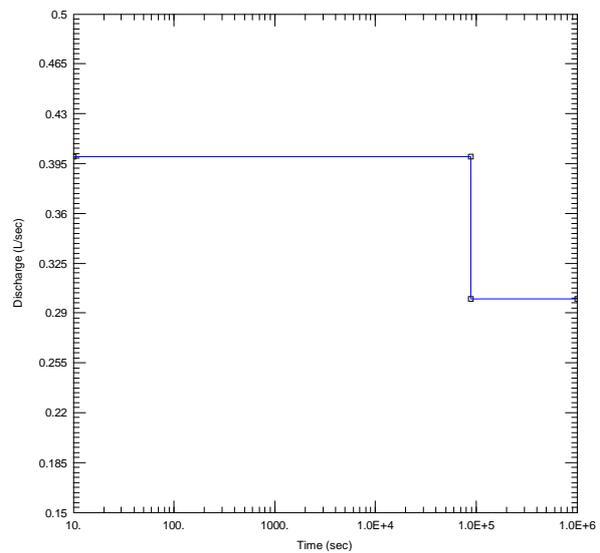


Abbildung 89: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase

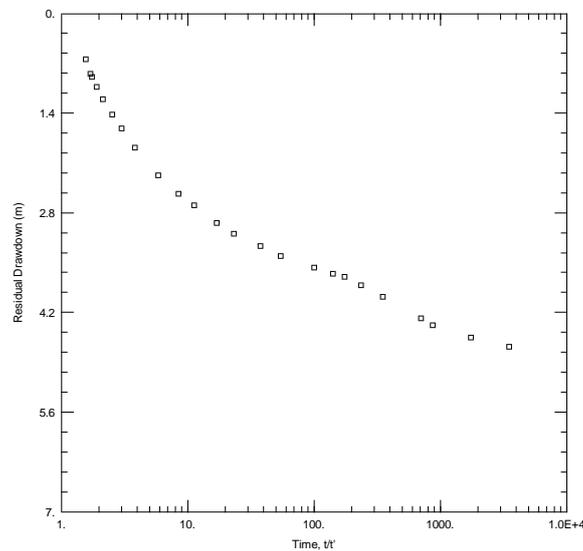


Abbildung 90: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase

In der Absenkungskurve ist der Brunnenspeichereffekt durch den gleichmäßigen und steilen Verlauf zu erkennen (Abbildung 88) (vgl. Abbildung 13.2.b). Daraufhin ist eine starke Infiltrationsgrenze zu sehen, weil die Kurve leicht abfällt. Danach verläuft die Kurve wieder eben (vgl. Abbildung 13.1.c). Die Wiederanstiegskurve ist zunächst flach, dann leicht eben und daraufhin steil, wodurch es den Anschein hat, dass die wasserführenden Schichten unterschiedlich auf den Pumpversuch reagierten. Die Filterstrecke ist 31,00 m lang und erfasst mehrere Horizonte (vgl. Abbildung 13.1.d). Die Mächtigkeit musste aufgrund des Programms AQTESOLV auf 9 m erhöht werden.

Tabelle 46: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 1,80 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,93 \cdot 10^{-2}$
Theis	$T = 1,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,32 \cdot 10^{-10}$
Papadopulos&Cooper	$T = 1,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,27 \cdot 10^{-11}$
Barker	$T = 1,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,98 \cdot 10^{-12}$
Dougherty&Babu	$T = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,74 \cdot 10^{-11}$
Murdoch	$T = 1,30 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,28 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 47: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis 1. Steigung	$T = 6,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 5,40 \cdot 10^{-3}$
Theis 2. Steigung	$T = 1,76 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,93$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Barker	$T = 2,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,79 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 1,19 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,75 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 3,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,11 \cdot 10^{-2}$

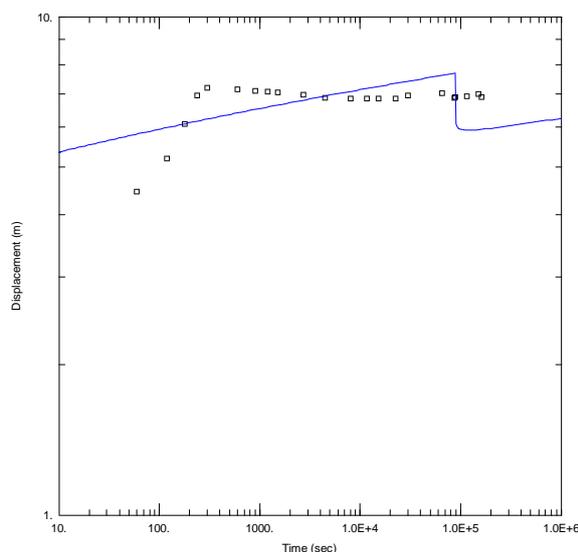


Abbildung 91: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Markt Hartmannsdorf, 2. Stufe ausgewertet nach Murdoch

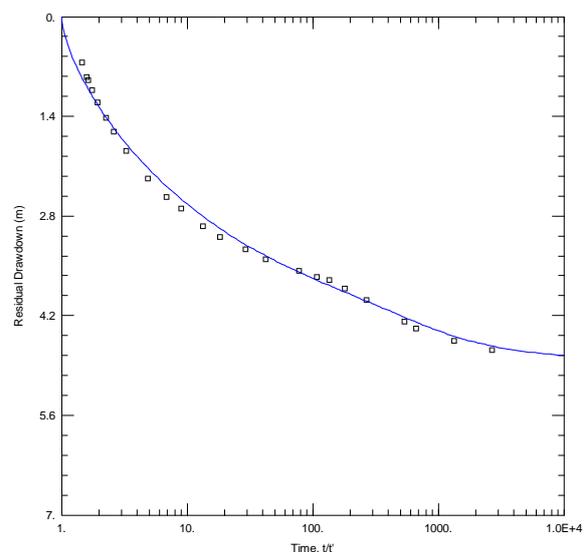


Abbildung 92: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Markt Hartmannsdorf, 2. Stufe ausgewertet nach Barker

Die Auswertung der Absenkung hat für die Transmissivität zu einem Werte zwischen $2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und zum anderen Werte zwischen $1,80 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,30 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ergeben. Der Wert des Speicherkoeffizienten liegt berechnet nach der Methode Murdoch bei $1,28 \cdot 10^{-3}$ und nach Cooper&Jacob bei $1,93 \cdot 10^{-2}$. Die restlichen Auswertemethoden haben Werte, die kleiner als $2,32 \cdot 10^{-10}$ sind, ergeben und sind für einen gespannten Aquifer zu niedrig.

Die Ergebnisse für die Transmissivität sind im Schnitt niedriger als in der Absenkung und liegen zwischen $6,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,19 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte, die für den Speicherkoeffizienten ermittelt wurden, gehen von $8,79 \cdot 10^{-2}$ bis $7,11 \cdot 10^{-2}$. Der Wert

von 0,93 ist repräsentativer für den Gesamtaquifer und deutet auf eine leichte Barriere hin.

3. Phase

Die Absenkungskurve der 3. Phase hat keinen gleichmäßigen Verlauf, denn bspw. bei Sekunde 12.300 und 32.580 ist ein ungewöhnlicher Abfall der Kurve erkennbar (Abbildung 93). Zu Beginn hat die Kurve einen steilen und gleichmäßigen Verlauf. Daraufhin zeigt die Absenkungskurve eine leichte Steigung. Die Förderrate in dieser Phase schwankt stark (Abbildung 94). Die Pumpe wurde wegen Reparaturarbeiten 2 Mal für 10 bzw. 18 Min. ausgeschaltet. Der Kurvenverlauf des Wiederanstiegs unterscheidet sich von der 2. Phase, denn die Kurve ist noch stärker gekrümmt. Die Kurve beginnt leicht steil sowie gleichmäßig und wird dann mit der Zeit steiler. Danach verläuft sie kurz eben und hat dann bis zum Schluss einen für einen gespannten Aquifer üblichen Verlauf (Abbildung 95).

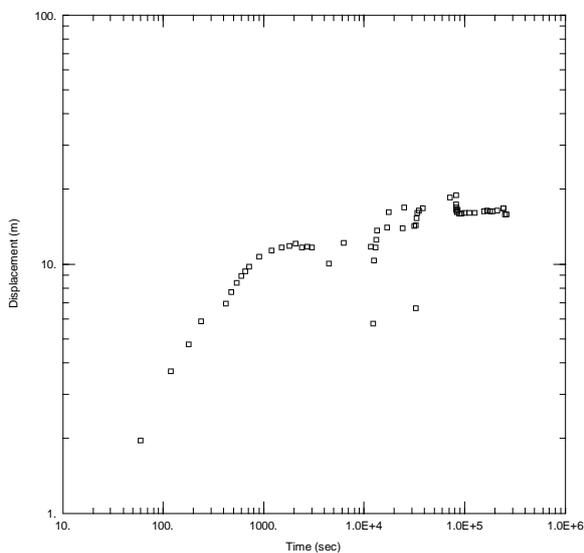


Abbildung 93: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase

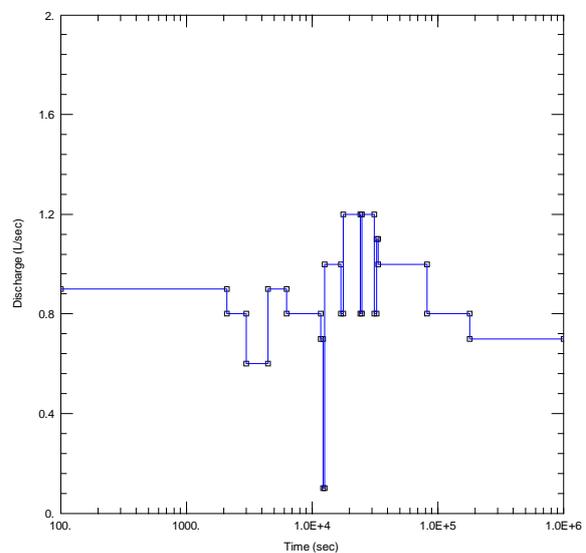


Abbildung 94: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase

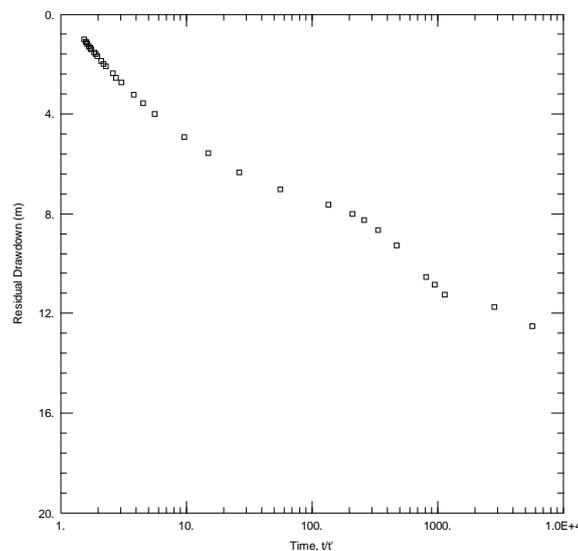


Abbildung 95: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase

Die Schwankungen in der doppellogarithmischen Darstellung hängen größtenteils mit den Schwankungen der Förderrate zusammen (Abbildung 93). Am Anfang ist ein deutlicher Brunnenspeichereffekt zu erkennen (vgl. Abbildung 13.2.b). Daraufhin bleibt die Kurve eben. Bei Sekunde 17.100 ist zwar die Kurve bereits angestiegen, aber das liegt höchstwahrscheinlich daran, dass auch die Förderrate zur selben Zeit gesteigert wurde (Abbildung 94). Es wird angenommen, dass die Kurve am Ende der Absenkung einen Anstieg erfahren hat. Die Vermutung liegt nahe, da bei Sekunde 82.620 auch die Förderrate gesenkt wurde, aber die Kurve bis zum Schluss eben blieb. Da mehrere Horizonte erschlossen werden, ist es möglich, dass in der 2. Phase weiter Grundwasser nachgekommen ist, während in der 3. Stufe, bedingt durch das längere Pumpen, bereits alle Horizonte ausgelastet wurden. Es kann sich also um eine verzögerte Entleerung handeln (vgl. Abbildung 9 B oder Abbildung 10 A). Die Wiederanstiegskurve bildet eine Mischung aus der 1. und 2. Phase. Zu Beginn des Pumpversuchs ist womöglich ein Brunnenspeichereffekt durch den kurzen steilen Anstieg zu Beginn des Wiederanstiegs zu sehen (vgl. Abbildung 13.2.d). Auch hier passt die Kurve sehr gut zu einem sogenannten „Doppel-Porositäts-Modell“, was durch die mehreren Horizonte bedingt sein kann (vgl. Abbildung 13.5.d). Die Mächtigkeit musste aufgrund des Programms AQTESOLV auf 19 m erhöht werden, da sonst keine Auswertung möglich gewesen wäre.

Tabelle 48: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 4,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,80 \cdot 10^{-3}$
Theis	$T = 4,01 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,53 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 5,37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,75 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 5,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,14 \cdot 10^{-3}$
Dougherty&Babu	$T = 5,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,48 \cdot 10^{-4}$
Murdoch	$T = 4,01 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,03 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 49: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 3,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,52$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,92 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Barker	$T = 7,65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,85 \cdot 10^{-1}$
Dougherty&Babu	$T = 3,08 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,50 \cdot 10^{-4}$
Murdoch	$T = 3,55 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,95 \cdot 10^{-4}$

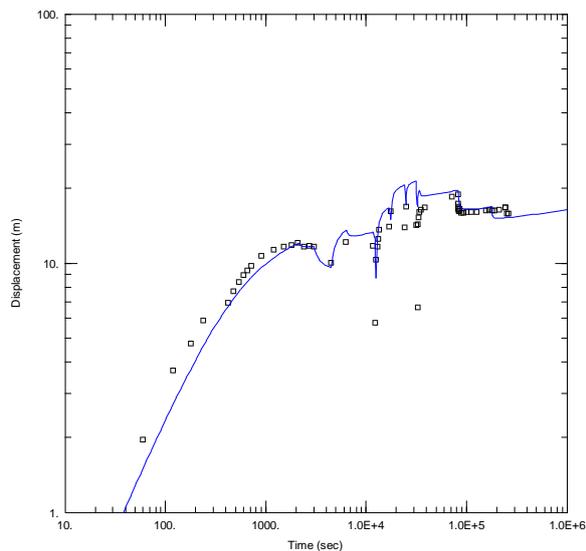


Abbildung 96: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Markt Hartmannsdorf, 3. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

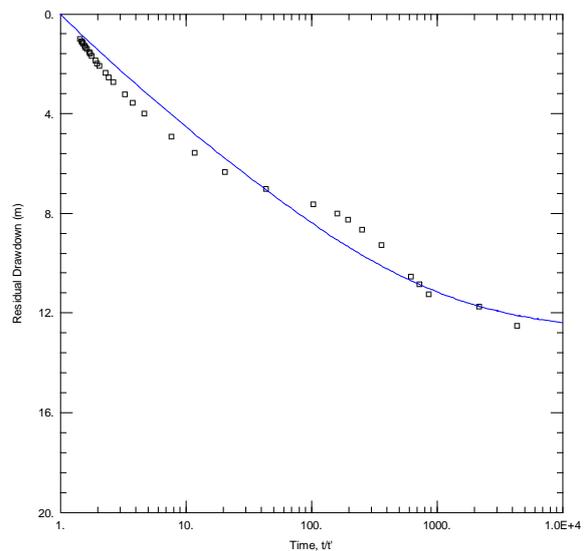


Abbildung 97: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Markt Hartmannsdorf, 3. Phase ausgewertet nach Dougherty&Babu

Die Ergebnisse für die Transmissivität sind in der Absenkung zwischen $5,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $4,01 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Im Schnitt ist die Transmissivität niedriger als in der 2. Phase. Der Speicherkoeffizient liegt für die Auswertemethoden Cooper&Jacob, Barker und Papadopulos&Cooper jeweils bei $8,80 \cdot 10^{-3}$, $3,14 \cdot 10^{-3}$ und $1,75 \cdot 10^{-3}$. Die Methode Dougherty&Babu hat für den Speicherkoeffizienten einen Wert von $4,48 \cdot 10^{-4}$ ergeben, während der Wert, der nach Murdoch berechnet wurde, bei $4,03 \cdot 10^{-4}$ liegt. Diese Ergebnisse passen sehr gut zu einem gespannten Aquifer, nur der Wert $5,53 \cdot 10^{-2}$, der nach Theis berechnet wurde, ist höher als erwartet.

Die Ergebnisse für die Transmissivitäten des Wiederanstiegs gehen von $7,65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $3,08 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Mit den Methoden Dougherty&Babu ($2,50 \cdot 10^{-4}$) und Murdoch ($8,95 \cdot 10^{-4}$) sind für einen gespannten Aquifer typische Werte berechnet worden. Die restlichen Werte, die mit den anderen Methoden berechnet wurden, sind zu hoch. Der Wert für S/S' liegt bei 0,52 und deutet auf eine stärkere Barriere hin, allerdings ist der ausgewählte Bereich nicht für den gesamten Aquifer repräsentativ (Duffield, 2007). Wird bspw. nur die letzte Steigung am Ende des Wiederanstiegs berücksichtigt, ist der Wert für S/S' 1,00.

Auswertung des Pumpversuchs Unterrohr

1. Phase

Tabelle 50: Parameter und Werte des Pumpversuchs Unterrohr

Parameter	Werte
Mächtigkeit	12 m
Radius der Bohrung	0,150 m
Radius des Filterrohrs	0,0625 m
Pumpstart Stufe 1	28.02.1996 11:00 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 1	15.03.1996 09:00 Uhr
Pumpstart Stufe 2	22.03.1996 09:00 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Stufe 2	30.04.1996 09:00 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung Stufe 2	18.06.1996 07:00 Uhr

In der Absenkungskurve der 1. Phase ist die Kurve am Anfang sehr steil und gerade verlaufend (Abbildung 98). Anschließend verläuft die Kurve sehr flach und wird daraufhin etwas steiler. In der Wiederanstiegskurve ist zu Beginn eine relativ flache Steigung zu erkennen (Abbildung 99). Danach verläuft die Kurve fast eben bis sie steil nach oben weitergeht.

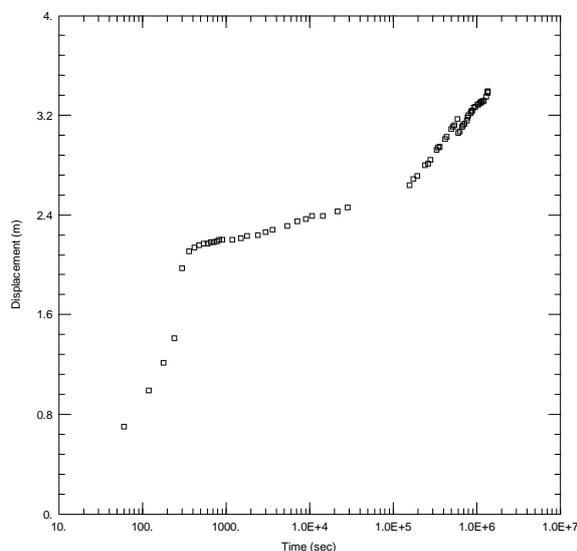


Abbildung 98: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 1. Phase

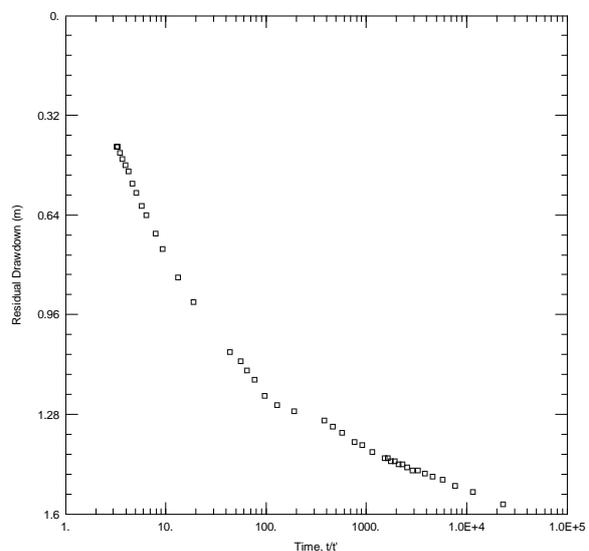


Abbildung 99: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 1. Phase

Ein Brunnenspeichereffekt ist deutlich in der Absenkungskurve zu erkennen (Abbildung 98) (vgl. Abbildung 13.2.c). Der weitere Verlauf der Kurve sieht aus wie eine „verzögerte Entleerung“, da zunächst die Kurve eben ist (als ob eine Infiltration stattfindet) und sie dann steiler wird (als ob eine Staugrenze vorhanden ist) (Abbildung 99) (vgl. Abbildung 10 B') (vgl. Abbildung 13.5.c). Die Wiederanstiegskurve zeigt, wie in der Absenkung, eine „verzögerte Entleerung“ (vgl. Abbildung 13.5.d). Ein Brunnenspeichereffekt ist durch den Verlauf am Beginn des Wiederanstiegs erkennbar (vgl. Abbildung 13.2.d).

Tabelle 51: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Unterrohr, 1. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob, 1. Steigung	$T = 2,17 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,12 \cdot 10^{-10}$
Cooper&Jacob, 2. Steigung	$T = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 69,92$
Theis	$T = 8,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,88 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 9,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,04 \cdot 10^{-4}$
Barker	$T = 9,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,61 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 9,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,34 \cdot 10^{-4}$
Murdoch	$T = 8,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,87 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 52: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Unterrohr, 1. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis, 1. Steigung	$T = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 2,55 \cdot 10^{-3}$
Theis, 2. Steigung	$T = 5,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,75$
Papadopulos&Cooper	$T = 5,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,47$
Barker	$T = 9,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,47 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 5,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,57 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 8,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,11 \cdot 10^{-1}$

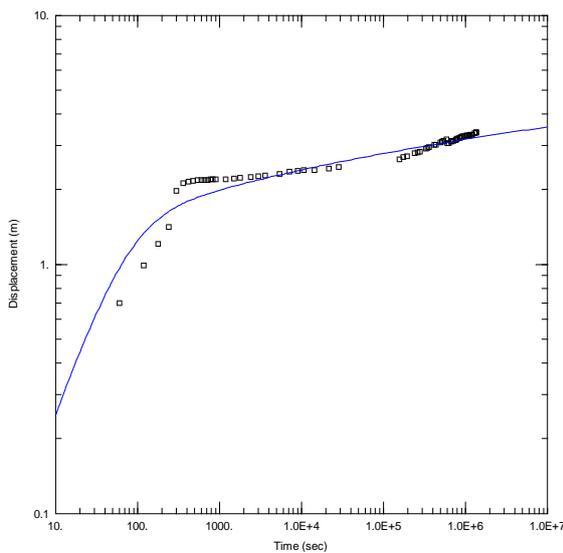


Abbildung 100: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 1. Phase ausgewertet nach Barker

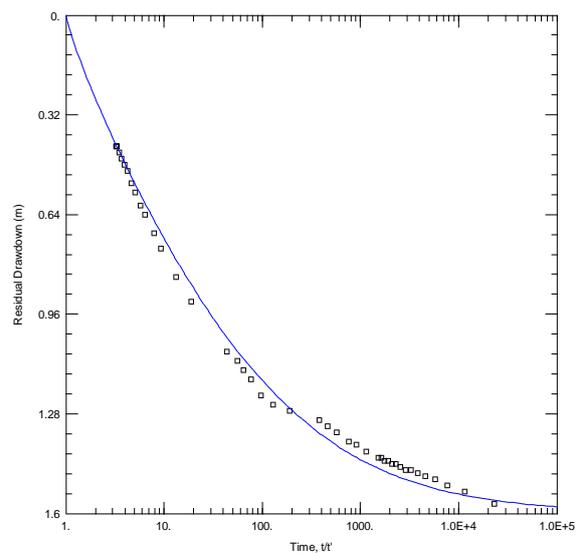


Abbildung 101: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 1. Stufe ausgewertet nach Barker

Die Ergebnisse der Absenkung für die Transmissivität liegen zwischen $9,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $8,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten passen wunderbar zu einem gespannten Aquifer, da sie größtenteils zwischen $8,87 \cdot 10^{-4}$ und $3,04 \cdot 10^{-4}$ sind. Die Berechnungen mit den Auswertemethoden Theis und Cooper&Jacob sind zu hoch bzw. zu niedrig.

Die Werte für die Transmissivität gehen von $9,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $5,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Speicherkoeffizienten sind im Wiederanstieg höher als in der Absenkung und variieren viel stärker. Die Werte, die noch am ehesten passen würden, liegen je nach Auswertemethoden bei $3,47 \cdot 10^{-2}$ (Barker) und $5,57 \cdot 10^{-2}$ (Dougherty&Babu) und sind

eigentlich zu hoch. Für den Wert von S/S' wurden $2,55 \cdot 10^{-3}$ und $0,75$ berechnet, welche auf eine Barriere hinweisen (Duffield, 2007).

2. Phase

Die Kurve der Absenkung ist zu Beginn eine Zeitlang vertikal und verläuft daraufhin bis zum Ende der Pumpphase mit einer leichten Steigung (Abbildung 102). Die Wiederanstiegskurve ist zu Beginn flach und hat einen leicht gewölbten Verlauf. Am Anschluss an den gewölbten Verlauf ist die Kurve steil und gerade verlaufend (Abbildung 103).

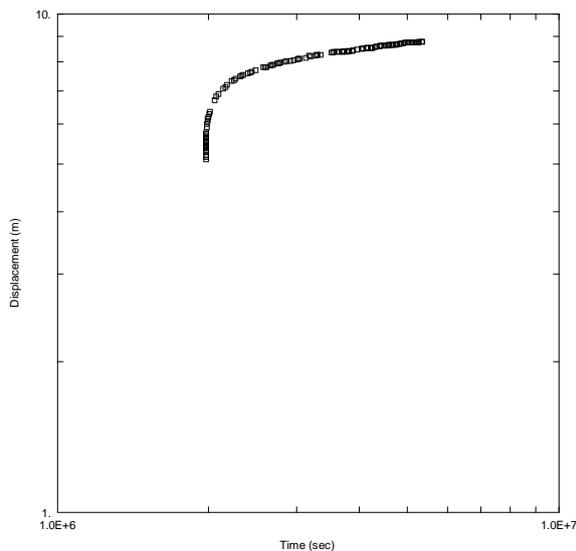


Abbildung 102: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 2.Phase

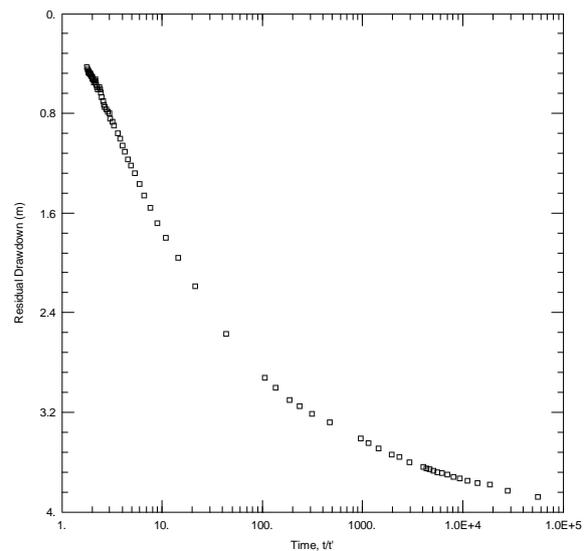


Abbildung 103: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 2.Phase

Die 2. Phase des Pumpversuchs Unterrohr beginnt bei der 1980000. Sekunde, dadurch befinden sich die Messungen nur in einem Log-Intervall und liegen zwischen $1,00 \cdot 10^6$ und $1,00 \cdot 10^7$ Sekunden (Abbildung 102). So ist der vertikale, anfängliche Verlauf zu erklären. In der doppellogarithmischen Darstellung hat die Kurve einen für einen gespannten Aquifer „normalen“ weiteren Verlauf bis hin zu einer leichten Staugrenze (vgl. Abbildung 13.1.b). Der Brunnenspeichereffekt kann nicht sichtbar sein, da die Absenkung der 2. Stufe direkt an den 1. Wiederanstieg anschließt und nicht vollkommen aufgespiegelt war, bevor das Pumpen für die 2. Phase wieder aufgenommen wurde. Die 1. Phase und 2. Phase zeigen kaum Gemeinsamkeiten auf. Im Wiederanstieg ist deutlich ein Brunnenspeichereffekt zu sehen (Abbildung 103) (vgl. Abbildung 13.2.d). Der weitere Verlauf einer Kurve zeigt einen für einen gespannten Aquifer üblichen Verlauf, also weder eine Infiltration- noch eine Staugrenze (vgl. Abbildung 13.1.d).

Tabelle 53: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Unterrohr, 2. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 523,8$
Theis	$T = 9,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,00 \cdot 10^{-4}$
Papadopulos&Cooper	$T = 9,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,95 \cdot 10^{-4}$
Barker	$T = 8,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,72 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 8,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,03 \cdot 10^{-4}$
Murdoch	$T = 8,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,74 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 54: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Unterrohr, 2. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,97$
Papadopulos&Cooper	$T = 5,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,56 \cdot 10^{-4}$
Barker	$T = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,00 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 4,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,88 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 7,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,21 \cdot 10^{-1}$

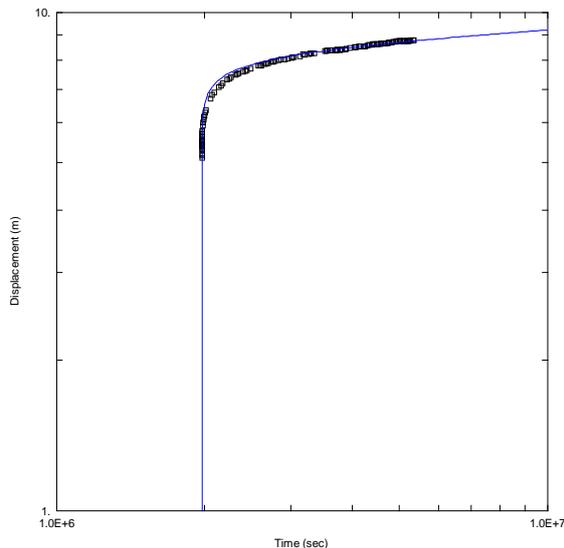


Abbildung 104: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 2. Phase ausgewertet nach Barker

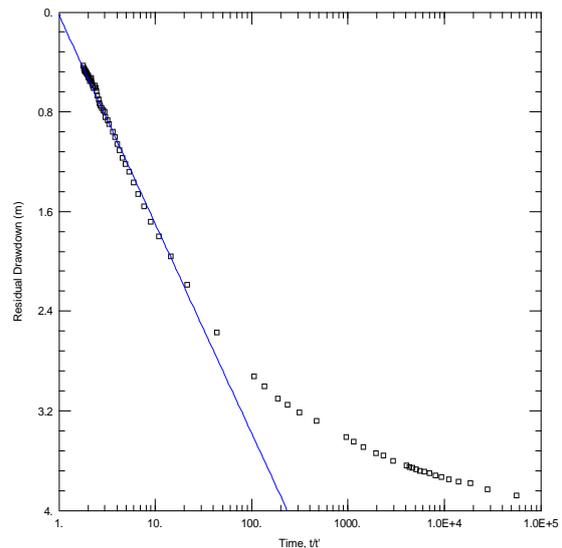


Abbildung 105: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 2. Phase ausgewertet nach Theis

Für die Transmissivität liegen die Werte zwischen $9,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ in der Absenkung, also so ähnlich wie in der 1. Phase. Die Werte der Speicherkoeffizienten ergeben bessere Ergebnisse, als in der 1. Phase. Die Werte für den Speicherkoeffizienten liegen je nach Auswertemethode zwischen $7,03 \cdot 10^{-4}$ und $1,74 \cdot 10^{-4}$. Das Ergebnis, das mit Cooper&Jacob berechnet wurde, ist viel zu hoch. Die übrigen Werte passen gut zu einem gespannten Aquifer.

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs liegen zwischen $7,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten sind je nach Auswertemethode etwas unterschiedlich. Das passendste Ergebnis liefert die Methode Papadopulos&Cooper, welches bei $2,56 \cdot 10^{-4}$ liegt. Das Ergebnis für S/S' mit 0,97 bedeutet eine sehr leichte Barriere (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Urscha II

1. Phase

Tabelle 55: Parameter und Werte des Pumpversuchs Urscha II

Parameter	Werte
Mächtigkeit	4,1 m
Radius der Bohrung	0,350 m
Radius des Filterrohrs	0,150 m
Pumpstart Phase 1	11.07.1995 06:00 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Phase 1	13.07.1995 06:00 Uhr
Pumpstart Phase 2	13.07.1995 09:00 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Phase 2	16.07.1995 09:00 Uhr
Pumpstart Phase 3	19.07.1995 13:01 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs d. Phase 3	16.09.1995 08:00 Uhr

Zu Beginn der Absenkungskurve von der 1. Phase besteht eine steile Abweichung. In weiterer Folge verläuft die Kurve leicht gewölbt sowie steil, wie es für einen gespannten Aquifer üblich ist, und hat dann einen flachen Verlauf (Abbildung 106). Im Wiederanstieg ist die Kurve leicht gewölbt und steil verlaufend, bis sie zu einem geraden und steilen Kurvenverlauf übergeht. Am Ende des Wiederanstiegs wird die Kurve flacher (Abbildung 107).

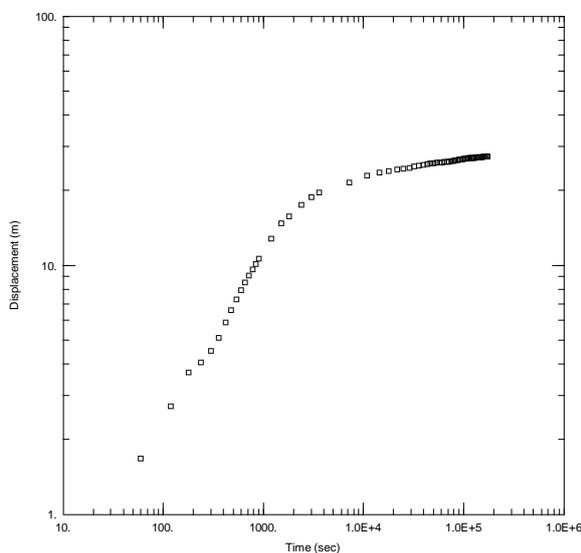


Abbildung 106: Doppelloarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 1. Phase

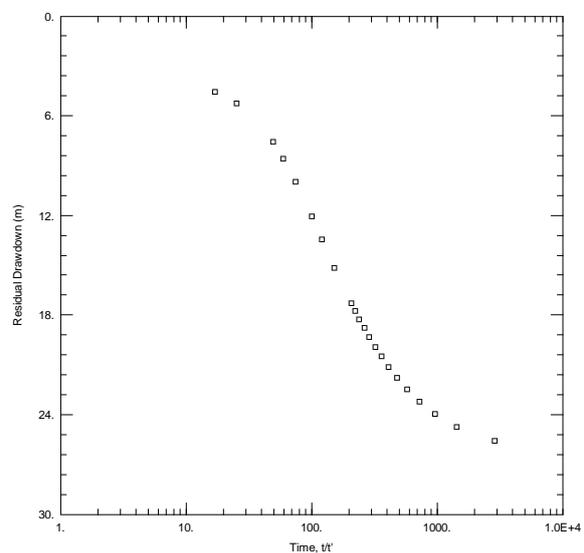


Abbildung 107: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 1. Phase

Ein Brunnenspeichereffekt ist in der Absenkungskurve vorhanden (Abbildung 106) (vgl. Abbildung 13.2.b). Am weiteren Verlauf der Kurve ist weder eine Infiltrations- noch Staugrenze zu sehen (vgl. Abbildung 13.1.b). In der Wiederanstiegskurve besteht auch ein deutlicher Brunnenspeichereffekt (Abbildung 107) (vgl. Abbildung 13.2.d). Das Ende der Wiederanstiegskurve ist durch eine leichte Infiltrationsgrenze charakterisiert (vgl.

Abbildung 13.1.). Die Aquifermächtigkeit musste von 4,1 m auf 28 m geändert werden, da die Absenkung so hoch war und das Programm AQTESOLV ansonsten keine Auswertung durchführen kann.

Tabelle 56: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Urscha II, 1. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 5,10 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,77 \cdot 10^{-6}$
Theis	$T = 2,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,76 \cdot 10^{-2}$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,74 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,01 \cdot 10^{-5}$
Barker	$T = 8,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,86 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 5,07 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,10 \cdot 10^{-5}$
Murdoch	$T = 5,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,79 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 57: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Urscha II, 1. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 4,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,27$
Papadopulos&Cooper	$T = 5,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,56 \cdot 10^{-4}$
Barker	$T = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 5,21 \cdot 10^{-6}$
Dougherty&Babu	$T = 5,76 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,92 \cdot 10^{-7}$
Murdoch	$T = 3,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,46 \cdot 10^{-11}$

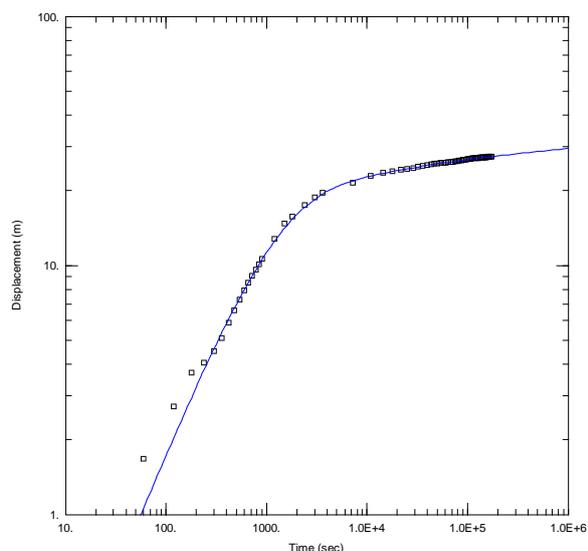


Abbildung 108: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 1. Phase ausgewertet nach Barker

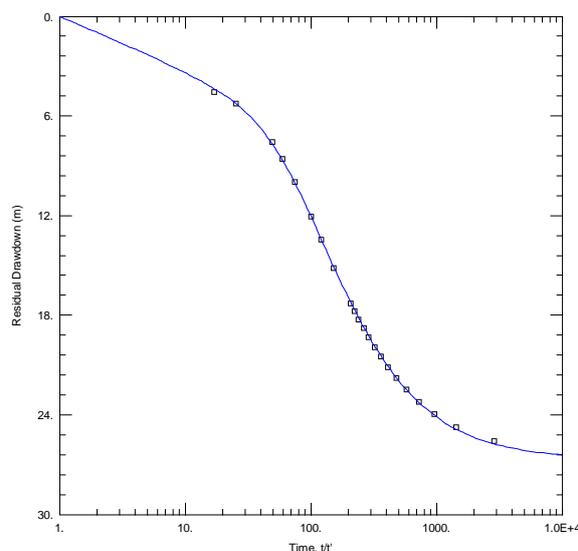


Abbildung 109: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 1. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

Für die Transmissivität liegen die Werte zwischen $8,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Berechnung nach der Methode Murdoch hat $5,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ergeben. Der Speicherkoeffizient variiert je nach Auswertemethode. Die Berechnung nach den Methoden Barker und Murdoch ist fast gleich und liegt bei $1,86 \cdot 10^{-4}$ bzw. $1,79 \cdot 10^{-4}$. Diese Werte passen wunderbar für den gespannten Aquifer. Die Auswertung mit der Methode Papadopulos&Cooper sowie Dougherty&Babu hat $1,01 \cdot 10^{-5}$ bzw. $1,10 \cdot 10^{-5}$ ergeben. Das Ergebnis, das mit den Methoden Cooper&Jacob bzw. Theis errechnet wurde, ist zu hoch bzw. zu niedrig.

Die Werte für die Transmissivität des Wiederanstiegs variieren je nach Auswertemethode zwischen $5,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Berechnung mit den Methoden Theis bzw. Dougherty&Babu ergibt $4,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bzw. $5,76 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Der Wert, der mit der Methode Papadopulos&Cooper ausgewertet wurde, liegt bei $5,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und mit Barker bei $1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Auswertung mit Murdoch hat einen ähnlichen Wert in der Absenkung ergeben und liegt bei $3,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Der Speicherkoeffizient, der mit der Methode Papadopulos&Cooper berechnet wurde, liegt bei $2,56 \cdot 10^{-4}$ und passt am besten zu einem gespannten Aquifer. Die restlichen Auswertemethoden haben einen zu hohen Speicherkoeffizienten berechnet. Der Wert von S/S' bedeutet das Vorhandensein einer Infiltrationsgrenze und liegt bei 1,27 (Duffield, 2007).

2. Phase

Der Verlauf der Absenkungs- sowie Wiederanstiegskurve ist nahezu ident mit dem Verlauf der 1. Phase. Zunächst verläuft die Kurve stark steil und gerade. Daraufhin hat der Kurvenverlauf eine leichte Steigung (Abbildung 110). Die Wiederanstiegskurve verläuft am Anfang gewölbt, zunächst flach und dann steil. Dann wird die Kurve steil und gerade. Zum Ende des Wiederanstiegs ist sie wieder flacher (Abbildung 111).

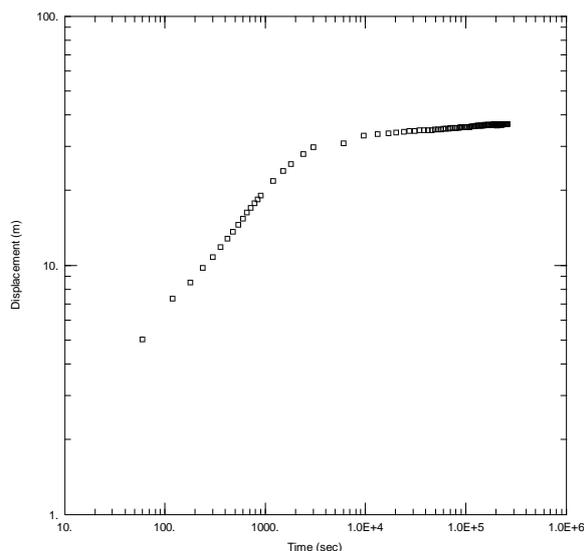


Abbildung 110: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 2. Phase

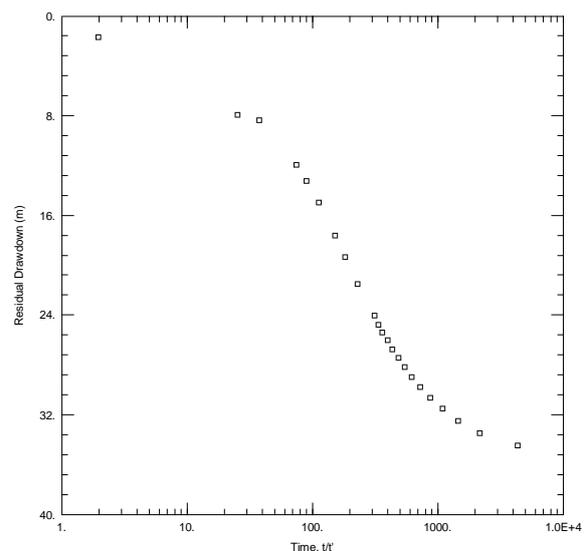


Abbildung 111: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 2. Phase

Die Absenkungskurve zeigt am Anfang einen starken Brunnenspeichereffekt (Abbildung 110) (vgl. Abbildung 13.2.b). Es ist weder eine Infiltrations- noch Staugrenze deutlich sichtbar (vgl. Abbildung 13.1.b). Die Wiederanstiegskurve hat ebenfalls einen Brunnenspeichereffekt (Abbildung 111) (vgl. Abbildung 13.2.d). Zum Schluss des Wiederanstiegs ist eine leichte Infiltrationsgrenze erkennbar (vgl. Abbildung 13.1.d). Die Aquifermächtigkeit musste von 4,1 m auf 37 m geändert werden, da die Absenkung so hoch war und das Programm AQTESOLV ansonsten keine Auswertung durchführen kann.

Tabelle 58: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Urscha II, 2. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 9,90 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,09 \cdot 10^{-11}$
Theis	$T = 2,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,20 \cdot 10^{-3}$
Papadopulos&Cooper	$T = 8,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,89 \cdot 10^{-9}$
Barker	$T = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,12 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 8,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,17 \cdot 10^{-5}$
Murdoch	$T = 4,51 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,84 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 59: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Urscha II, 2. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 4,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,10$
Papadopulos&Cooper	$T = 5,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,01 \cdot 10^{-5}$
Barker	$T = 4,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,61 \cdot 10^{-6}$
Dougherty&Babu	$T = 5,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,01 \cdot 10^{-5}$
Murdoch	$T = 3,20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,11 \cdot 10^{-11}$

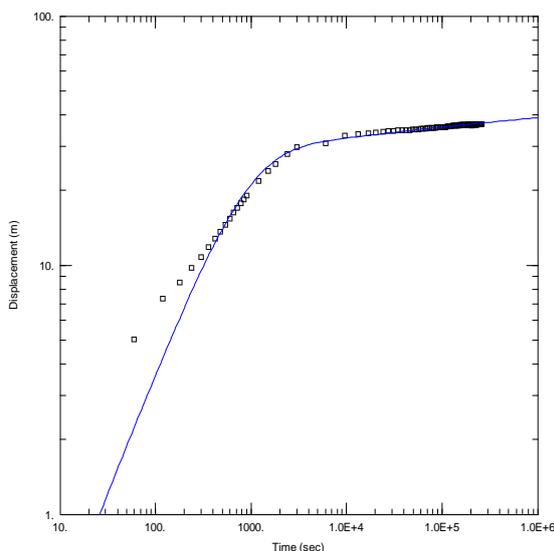


Abbildung 112: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 2. Phase ausgewertet nach Dougherty&Babu

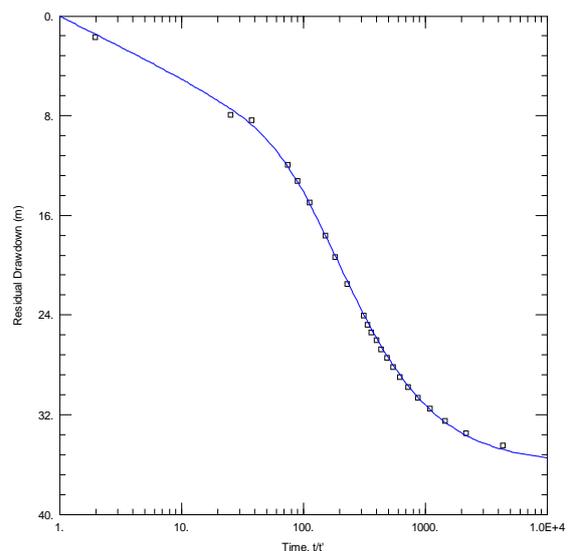


Abbildung 113: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 2. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

In der Absenkung sind die Werte für die Transmissivität größtenteils zwischen $9,90 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Auswertung mit der Methode Barker ergibt $1,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und mit Murdoch $4,51 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten variieren je nach Auswertemethode etwas stärker. Die Transmissivität, die nach Theis berechnet wurde, ergibt $6,20 \cdot 10^{-3}$, mit Barker $1,12 \cdot 10^{-4}$ und mit Murdoch $3,84 \cdot 10^{-6}$. Die restlichen Methoden haben zu niedrige Werte berechnet.

Die Ergebnisse für die Transmissivität liegen zwischen $5,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $4,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Der Wert für den Speicherkoeffizienten mit $1,01 \cdot 10^{-5}$ wurde sowohl mit Papadopulos&Cooper sowie Dougherty&Babu berechnet. Mit den restlichen Methoden

sind niedrigere Werte berechnet worden. Für S/S' ist 1,10 berechnet worden, was eine leichte Infiltration bedeutet.

3. Phase

Die Absenkung ist in der 3. Phase nahezu ident mit den ersten 2 Phasen, allerdings ist hier am Ende der Absenkungskurve eine Abweichung zu sehen. Die Steigung ist aber gleich (Abbildung 114). Der Wiederanstieg hat auch in der 3. Phase zu Beginn einen flachen und dann steileren Verlauf, der gewölbt ist. Danach verläuft die Kurve etwas flacher (Abbildung 115).

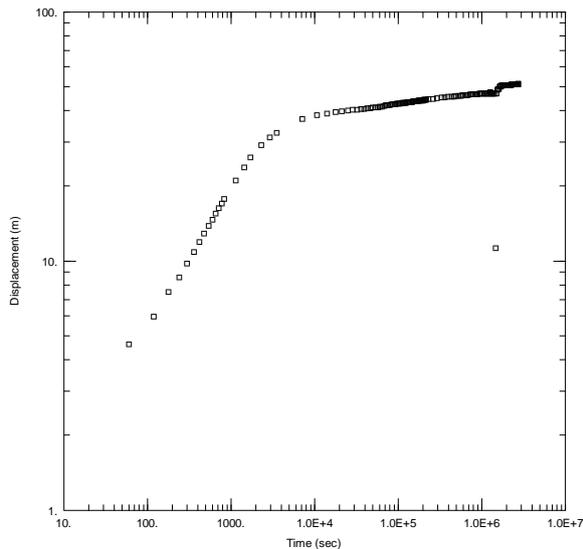


Abbildung 114: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 3. Phase

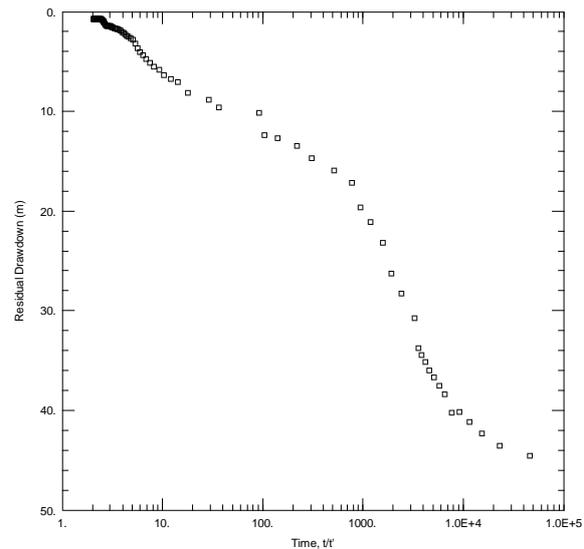


Abbildung 115: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 3. Phase

Die Abweichung am Ende der Absenkungskurve ist unbekannt. Die Förderrate blieb während des Pumpversuchs konstant auf 2,0 l/s. Der Brunnenspeichereffekt ist auch in der 3. Phase stark zu sehen (Abbildung 114) (vgl. Abbildung 13.2.b). Die doppellogarithmische Darstellung zeigt weder eine Infiltrations- noch eine Staugrenze (Abbildung 115) (vgl. Abbildung 13.1.b). Der Wiederanstieg hat einen Brunnenspeichereffekt sowie eine Infiltrationsgrenze (vgl. Abbildung 13.1.d bzw. vgl. Abbildung 13.2.d). Die Aquifermächtigkeit musste von 4,1 m auf 52 m geändert werden, da die Absenkung so hoch war und das Programm AQTESOLV ansonsten keine Auswertung durchführen kann.

Tabelle 60: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Urscha II, 3. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 8,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,95 \cdot 10^{-8}$
Theis	$T = 4,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,99 \cdot 10^{-3}$
Papadopulos&Cooper	$T = 7,32 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,47 \cdot 10^{-7}$
Barker	$T = 1,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,82 \cdot 10^{-5}$
Dougherty&Babu	$T = 7,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,30$
Murdoch	$T = 6,07 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,42 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 61: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Urscha II, 3. Phase

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 4,64 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,16$
Papadopulos&Cooper	$T = 6,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,17 \cdot 10^{-6}$
Barker	$T = 8,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,79 \cdot 10^{-1}$
Dougherty&Babu	$T = 7,09 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,23 \cdot 10^{-6}$
Murdoch	$T = 4,88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,12 \cdot 10^{-11}$

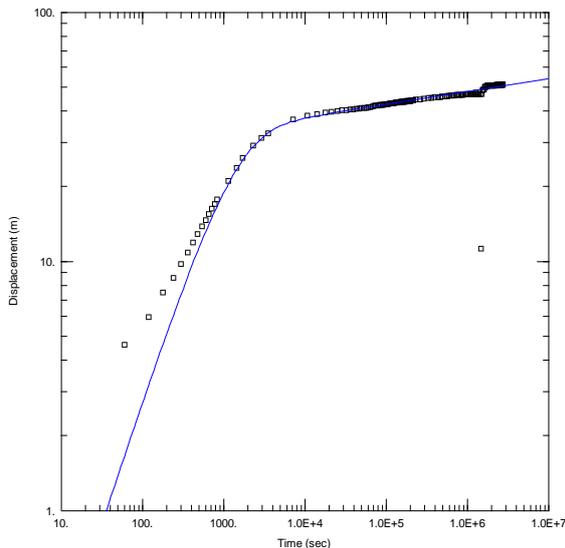


Abbildung 116: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 3. Phase ausgewertet nach Barker

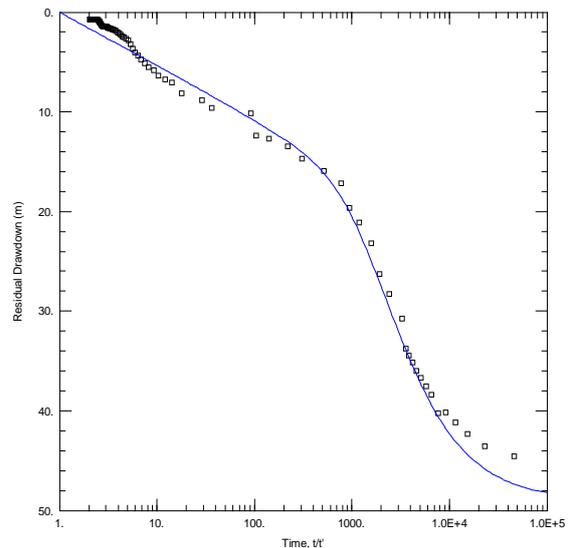


Abbildung 117: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 3. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

Die Werte für die Transmissivität liegen größtenteils zwischen $8,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $4,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Berechnung mit der Methode Barker liegt bei $1,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und mit Murdoch bei $6,07 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten variieren je nach Auswertemethode. Die Auswertung mit der Methode Theis hat $2,99 \cdot 10^{-3}$ ergeben und mit der Methode Barker $8,82 \cdot 10^{-5}$. Die restlichen Methoden haben zu niedrige oder zu hohe Werte errechnet.

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs liegen zwischen $8,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $4,64 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte für den Speicherkoeffizienten liegen allesamt zu hoch. Die Auswertung mit der Methode Papadopulos&Cooper und Dougherty&Babu liegt jeweils bei $2,17 \cdot 10^{-6}$ bzw. $2,23 \cdot 10^{-6}$. Der Wert S/S' liegt bei 1,16, was eine Infiltrationsgrenze bedeutet (Duffield, 2007).

Auswertung des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf

Brunnen 1

Tabelle 62: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1

Parameter	Werte
Mächtigkeit	Unbekannt (Absenkung 9 m; verwendete Mächtigkeit) (Endtiefe: 9,95 m) (Ruhewasserspiegel: 0,60 m)
Radius der Bohrung	1,25 m
Radius des Filterrohrs	1,25 m
Pumpstart	15.03.1994 13:40 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs	19.03.1994 08:57 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	20.03.1994 08:45 Uhr

Am Anfang des Pumpversuchs weicht die Kurve etwas ab und ist gewölbt. Daraufhin wird sie sehr steil und verläuft gerade (Abbildung 118). Die Wiederanstiegskurve ist bis zur Hälfte der Kurve sehr flach verlaufend und biegt dann steil ab. Daraufhin bleibt sie steil und gerade (Abbildung 119).

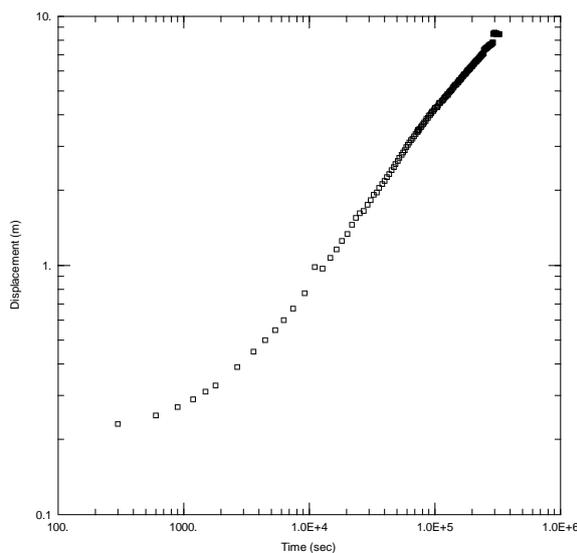


Abbildung 118: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1

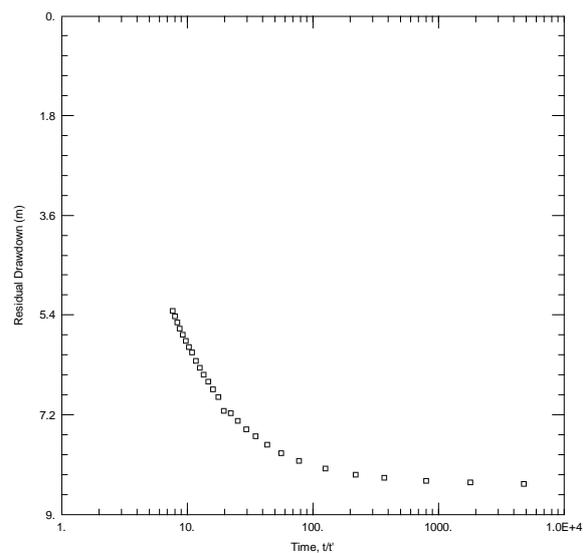


Abbildung 119: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1

Der Trend des Kurvenverlaufs zeigt einen typischen Kurvenverlauf für einen gespannten Aquifer, der an eine Staugrenze stößt (Abbildung 118) (vgl. Abbildung 13.1.b). Ein Brunnenspeichereffekt ist ebenfalls vorhanden (vgl. Abbildung 13.2.b). Auch im Wiederanstieg sind Brunnenspeichereffekt und Staugrenze sichtbar (Abbildung 119) (vgl. Abbildung 13.1.b bzw. Abbildung 13.2.b).

Tabelle 63: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 1,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,28$
Theis	$T = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,26$
Papadopulos&Cooper	$T = 8,19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,33$
Barker	$T = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,70 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,86 \cdot 10^{-5}$
Murdoch	$T = 3,38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,15$

Tabelle 64: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 1

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 1,91 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,42$
Papadopulos&Cooper	$T = 1,47 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,96 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,90 \cdot 10^{-2}$
Dougherty&Babu	$T = 7,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,39 \cdot 10^{-6}$
Murdoch	$T = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,99 \cdot 10^{-2}$

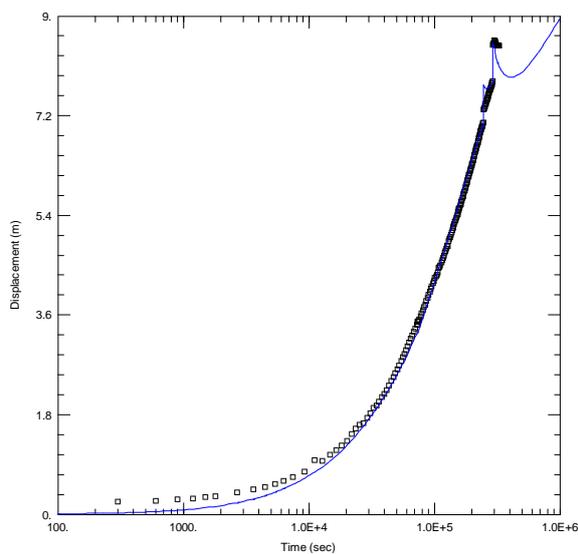


Abbildung 120: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1 ausgewertet nach Dougherty&Babu

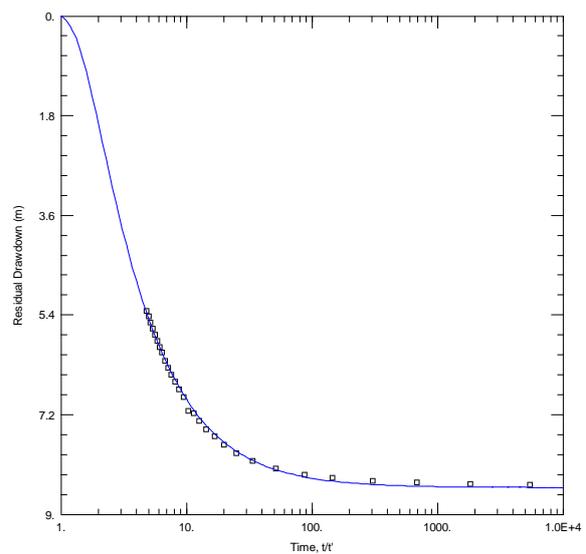


Abbildung 121: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1 ausgewertet nach Barker

In der Absenkung reichen die Werte für die Transmissivität von $1,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $3,38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte des Speicherkoeffizienten sind größtenteils viel zu hoch. Lediglich die Werte, die mit der Methode Barker und Dougherty&Babu, berechnet wurden, sind in einem passenden Bereich für einen gespannten Aquifer. Das Ergebnis der Methode Barker ist mit $1,70 \cdot 10^{-2}$ noch ein wenig zu hoch, ist aber noch annehmbar. Das Ergebnis, das mit Dougherty&Babu errechnet wurde, liegt bei $1,86 \cdot 10^{-5}$.

Die Ergebnisse für die Transmissivitäten des Wiederanstiegs liegen je Auswertemethode zwischen $1,91 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $7,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse der Speicherkoeffizienten des Wiederanstiegs sind besser als diejenigen, die in der Absenkung berechnet wurden. Größtenteils liegen sie zwischen $9,99 \cdot 10^{-2}$ und $1,90 \cdot 10^{-2}$. Das Ergebnis nach

Dougherty&Babu ist $8,39 \cdot 10^{-6}$. Der Wert von S/S' liegt bei 0,42 und bedeutet das Vorhandensein einer Barriere (Duffield, 2007).

Brunnen 3

Tabelle 65: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3

Parameter	Werte
Mächtigkeit	Unbekannt (Absenkung 10 m; verwendete Mächtigkeit) (Endtiefe: 13,62 m) (Ruhewasserspiegel: 1,88 m)
Radius der Bohrung	1,25 m
Radius des Filterrohrs	1,25 m
Pumpstart	15.03.1994 13:30 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs	19.03.1994 08:30 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	20.03.1994 08:00 Uhr

Die Absenkung und der Wiederanstieg sind nahezu ident zu dem des Brunnens 1. Allerdings gab es im Pumpversuch des Brunnens 3 einen starken Rückgang der Förderrate. Es gab eine Drosselung der Schüttung bei der 5220. Sekunde von ca. 0,30 l/s auf 0,20 l/s (Abbildung 123). Am Anfang des Pumpversuchs weicht die Kurve etwas ab und ist gewölbt. Daraufhin wird sie sehr steil und verläuft gerade (Abbildung 122). In der Wiederanstiegskurve sieht am zu Beginn einen sehr flachen Verlauf der Kurve, der dann gewölbt in eine steile Steigung übergeht (Abbildung 124).

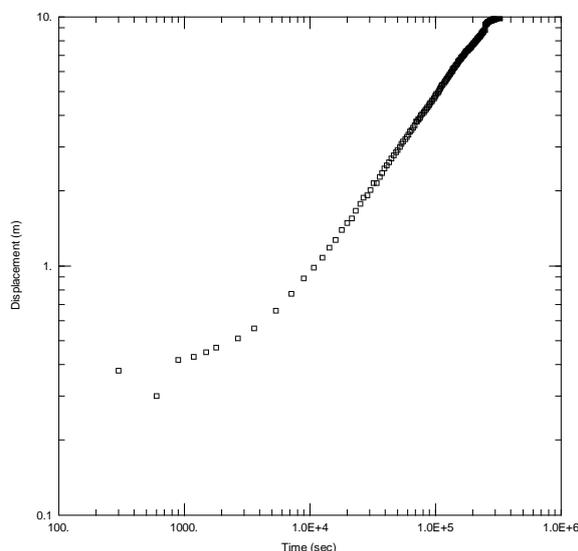


Abbildung 122: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3

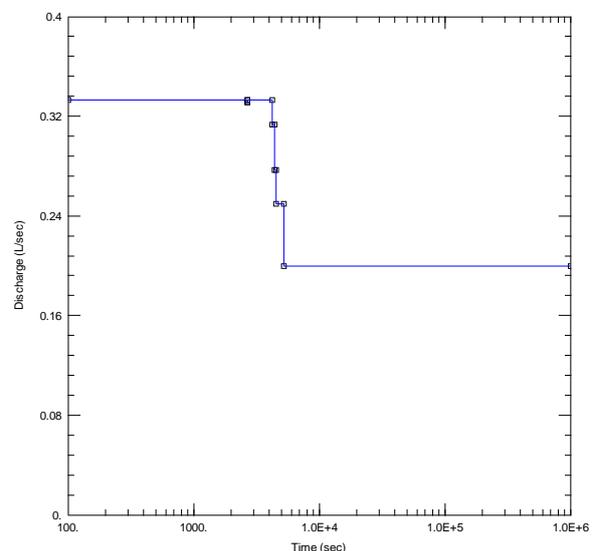


Abbildung 123: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3

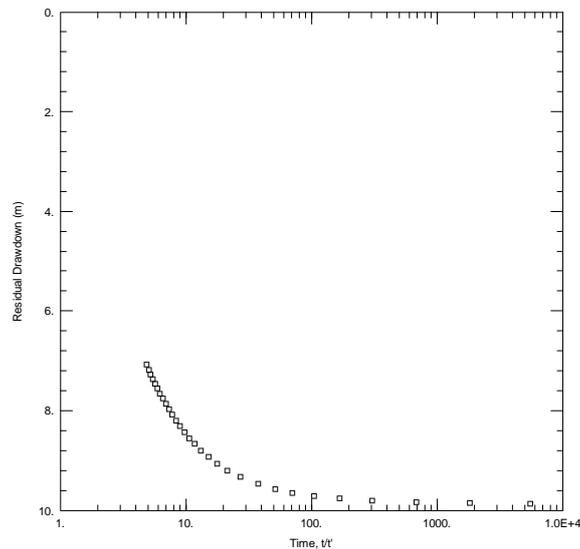


Abbildung 124: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3

In der Absenkung sind sowohl Brunnenspeichereffekt als auch Staugrenze sichtbar. Trotz Senkung der Förderrate, ist die Absenkung mit der gleichen Schnelligkeit immer weiter gesunken (Abbildung 122) (vgl. Abbildung 13.1.b bzw. Abbildung 13.2.b). Im Wiederanstieg ist das Vorhandensein eines Brunnenspeichereffekts gegeben (Abbildung 124) (vgl. Abbildung 13.2.d). Auch eine Staugrenze ist eindeutig zu erkennen (vgl. Abbildung 13.1.d).

Tabelle 66: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 3

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 3,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,18$
Theis	$T = 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,22$
Papadopulos&Cooper	$T = 7,63 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,41 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 5,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 7,05 \cdot 10^{-4}$
Dougherty&Babu	$T = 5,99 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,96 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 2,19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,38$

Tabelle 67: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 3

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 7,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,17$
Papadopulos&Cooper	$T = 2,43 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 6,23 \cdot 10^{-9}$
Barker	$T = 2,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,42 \cdot 10^{-9}$
Dougherty&Babu	$T = 7,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,39 \cdot 10^{-6}$
Murdoch	$T = 2,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 9,81 \cdot 10^{-2}$

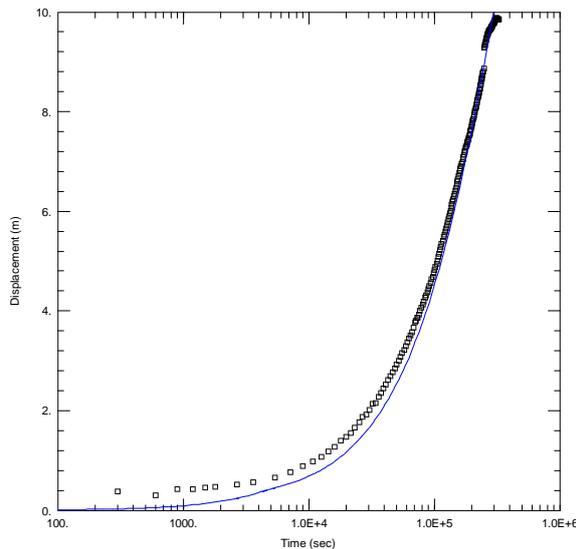


Abbildung 125: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

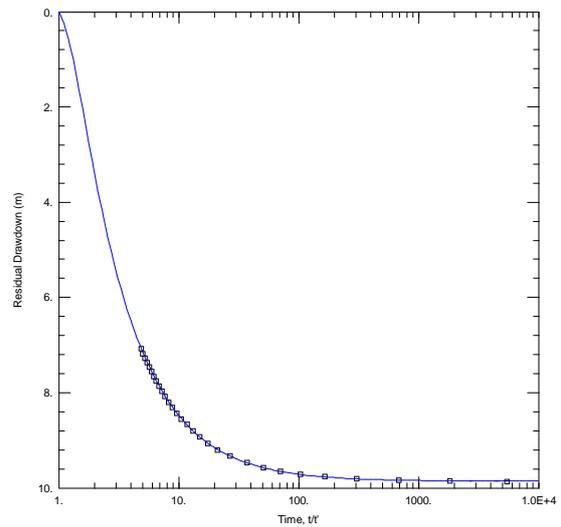


Abbildung 126: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3 ausgewertet nach Dougherty&Babu

In der Absenkung sind die Ergebnisse für die Transmissivität zwischen $7,63 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $2,19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte des Speicherkoeffizienten liegen je nach Auswertemethode bei $6,41 \cdot 10^{-3}$ (Papadopulos&Cooper), $1,96 \cdot 10^{-3}$ (Dougherty&Babu) bzw. $1,96 \cdot 10^{-3}$ (Barker). Die restlichen Speicherkoeffizienten sind viel zu hoch für einen gespannten Aquifer.

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs liegen zwischen $2,43 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bzw. zwischen $7,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten sind allesamt zu hoch oder zu niedrig für einen typischen gespannten Aquifer. Der Wert von S/S' liegt bei 0,17, welcher eine Barriere bedeutet (Duffield, 2007).

Brunnen 2

Tabelle 68: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2

Parameter	Werte
Mächtigkeit	Unbekannt (Absenkung 11 m; verwendete Mächtigkeit) (Endtiefe: 22,80 m) (Ruhewasserspiegel: 2,22 m)
Radius der Bohrung	1,00 m
Radius des Filterrohrs	1,00 m
Pumpstart	28.03.1994 09:15 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs	01.04.1994 07:15 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	04.04.1994 20:15 Uhr

In der doppellogarithmischen Darstellung ist eine steile, gerade Kurve in der Absenkung ersichtlich (Abbildung 127). Im Wiederanstieg ist der Kurvenverlauf zunächst flach und geht stetig in eine steilere Kurve über (Abbildung 128).

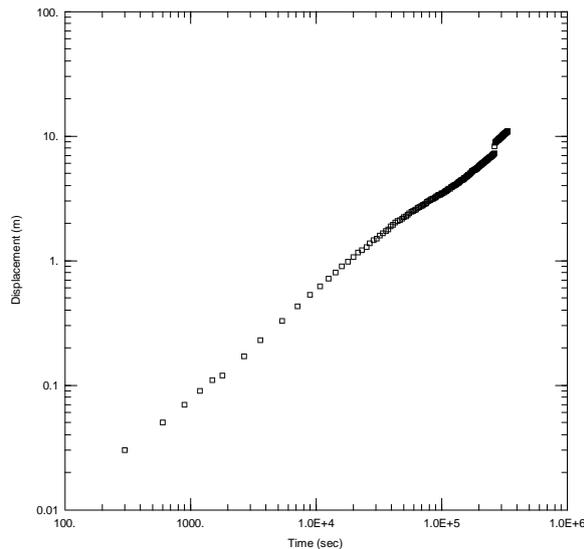


Abbildung 127: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2

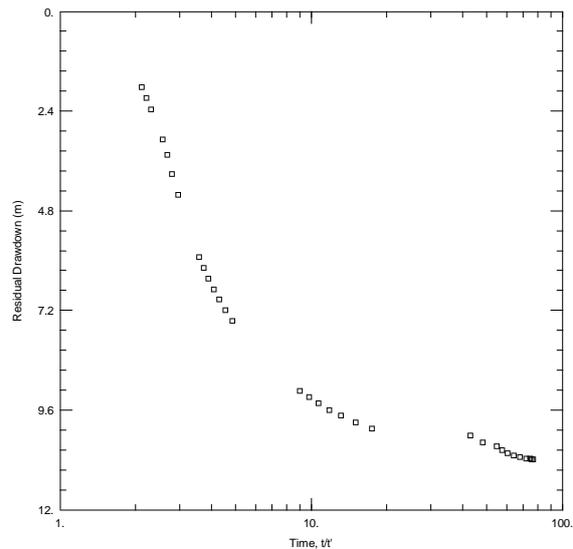


Abbildung 128: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2

In der doppellogarithmischen Darstellung geht die vom Brunneneffekt beeinflusste Steigung der Kurve direkt in die Kurve, die durch die Staugrenze beeinflusst wird, über (Abbildung 127) (vgl. Abbildung 13.1.b bzw. Abbildung 13.2.b). Der Wiederanstieg hat ebenfalls einen Brunnenspeichereffekt sowie eine Staugrenze in Darstellung gezeigt. (Abbildung 128) (vgl. Abbildung 13.1.d bzw. vgl. Abbildung 13.1.d).

Tabelle 69: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 2,43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,66$
Theis	$T = 2,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,87$
Papadopulos&Cooper	$T = 3,70 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 22,77$
Barker	$T = 2,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,65$
Dougherty&Babu	$T = 2,23 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,70$
Murdoch	$T = 2,71 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 3,96$

Tabelle 70: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 2

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 3,51 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 1,68$
Papadopulos&Cooper	$T = 1,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,02 \cdot 10^{-3}$
Barker	$T = 2,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,41 \cdot 10^{-11}$
Dougherty&Babu	$T = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,98 \cdot 10^{-3}$
Murdoch	$T = 5,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,29 \cdot 10^{-2}$

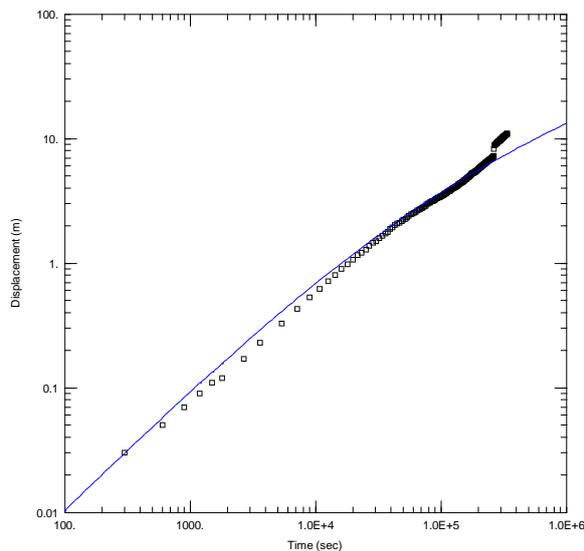


Abbildung 129: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2 ausgewertet nach Barker

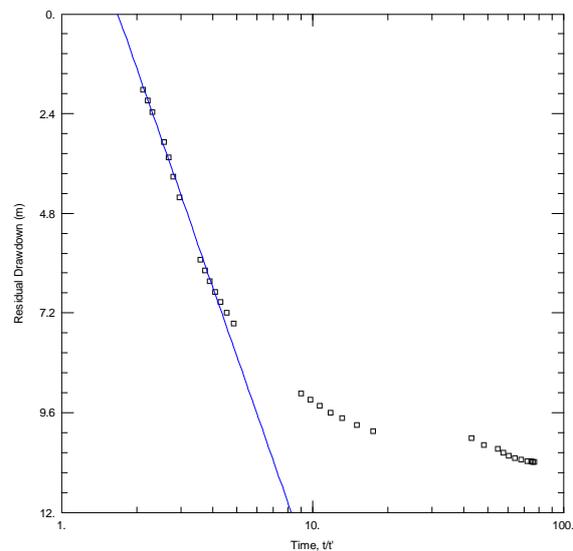


Abbildung 130: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2 ausgewertet nach Theis

In der Absenkung sind für die Transmissivität zum einen Werte von $2,71 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $2,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ zum anderen von $3,70 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $2,23 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ berechnet worden. Die Werte des Speicherkoeffizienten liegen zwischen 0,66 und 3,96. Der Wert berechnet mit der Methode Papadopulos&Cooper weicht mit 22,77 noch stärker ab. Die Werte für den Speicherkoeffizienten sind allesamt viel zu hoch.

Die Ergebnisse für die Transmissivitäten des Wiederanstiegs liegen zwischen $2,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $1,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bzw. zwischen $5,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ und $3,51 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse für den Speicherkoeffizienten, die einem gespannten Aquifer entsprechen, liegen bei $4,02 \cdot 10^{-3}$ (Papadopulos&Cooper) und $2,98 \cdot 10^{-3}$ (Dougherty&Babu). Der Wert von S/S' mit 1,68 deutet bei Brunnen 2 ausnahmsweise auf eine Infiltrationsgrenze hin (Duffield, 2007).

Brunnen 4

Tabelle 71: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4

Parameter	Werte
Mächtigkeit	Unbekannt (Absenkung 14 m; verwendete Mächtig.) (Endtiefe: 20,62 m) (Ruhewasserspiegel: 5,49 m)
Radius der Bohrung	1,25 m
Radius des Filterrohrs	1,25 m
Pumpstart	28.03.1994 08:45 Uhr
Pumpende/Start des Wiederanstiegs	01.04.1994 13:00 Uhr
Ende der Wiederanstiegsaufzeichnung	04.04.1994 20:00 Uhr

In der Absenkungskurve ist ein steiler Verlauf zu erkennen (Abbildung 131). In der Sekunde 285.300 wird die Schüttung von ca. 0,30 l/s auf 5,00 l/s erhöht (Abbildung 132). In der Wiederanstiegskurve ist zunächst ein langer ebener Verlauf erkennbar, der gewölbt in eine steile Steigung übergeht (Abbildung 133).

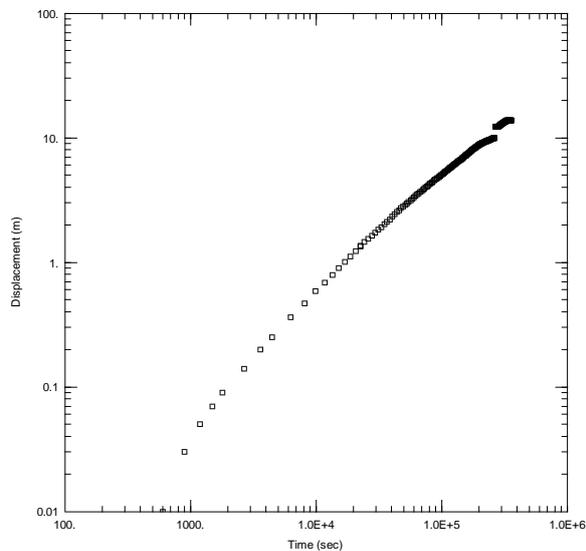


Abbildung 131: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4

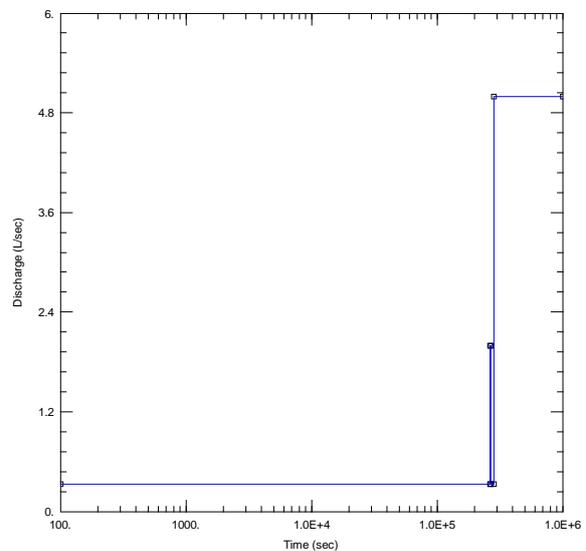


Abbildung 132: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4

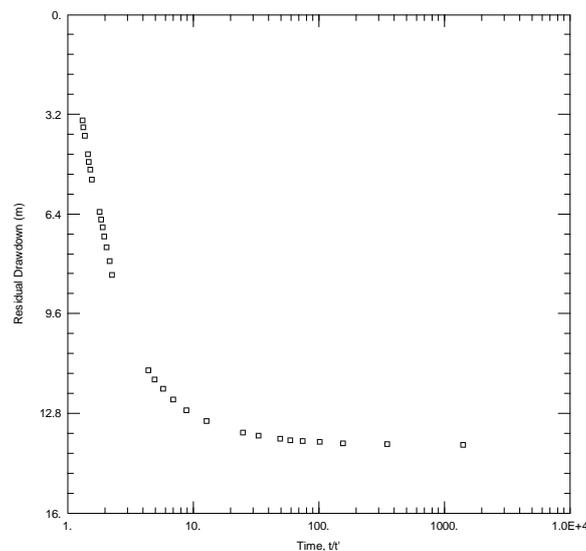


Abbildung 133: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4

In der Absenkung ist sowohl ein Brunnenspeichereffekt als auch eine Staugrenze sichtbar. (Abbildung 131) (vgl. Abbildung 13.1.b bzw. Abbildung 13.2.b) Die Abweichung am Ende der Kurve ist auf die Schüttungserhöhung zurückzuführen. Im Wiederanstieg sind ebenfalls ein Brunnenspeichereffekt sowie eine Staugrenze vorhanden. (Abbildung 133) (vgl. Abbildung 13.1.d bzw. Abbildung 13.2.d)

Tabelle 72: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 4

Auswertemethode	Ergebnisse	
Cooper&Jacob	$T = 2,81 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,22$
Theis	$T = 7,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,41$
Papadopulos&Cooper	$T = 4,64 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,67 \cdot 10^{-2}$
Barker	$T = 4,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 2,24$
Dougherty&Babu	$T = 8,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,13 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 3,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 4,76$

Tabelle 73: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 4

Auswertemethode	Ergebnisse	
Theis	$T = 4,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S/S' = 0,87$
Papadopulos&Cooper	$T = 5,95 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0,1$
Barker	$T = 3,37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,00 \cdot 10^{-1}$
Dougherty&Babu	$T = 2,44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 8,06 \cdot 10^{-2}$
Murdoch	$T = 6,71 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 1,00 \cdot 10^{-1}$

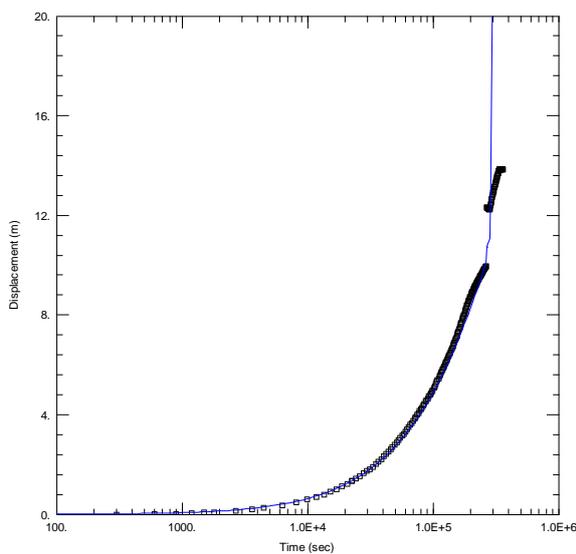


Abbildung 134: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper

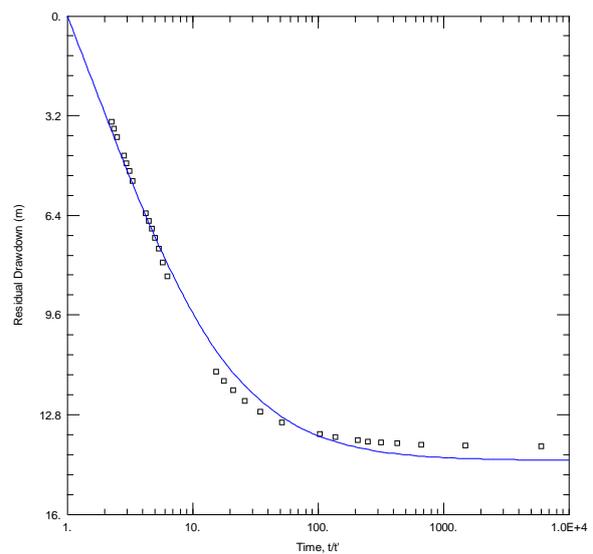


Abbildung 135: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4 ausgewertet nach Dougherty&Babu

Die Ergebnisse für die Transmissivität sind unterschiedlich je nach Auswertemethode. Die Auswertung, die nach Murdoch berechnet wurde, liegt bei $3,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,81 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ wurde mit der Methode Cooper&Jacob berechnet. Die Auswertemethode Papadopulos&Cooper ergibt einen Wert von $4,64 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ und mit Dougherty&Babu $8,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Ergebnisse, die mit Theis und Barker berechnet wurden, liegen bei je $7,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ bzw. $4,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte des Speicherkoeffizienten tlw. viel zu hoch. Die Werte, die eher zu einem gespannten Aquifer passen würden, liegen bei $8,67 \cdot 10^{-2}$ (Papadopulos&Cooper) und $1,13 \cdot 10^{-2}$ (Dougherty&Babu)

Die Ergebnisse für die Transmissivität des Wiederanstiegs liegen zwischen $5,95 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $2,44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Ein realistischer Speicherkoeffizient liegt in diesem Fall bei

$8,06 \cdot 10^{-2}$, wobei dies trotzdem noch um eine Größenordnung zu hoch ist und nach Dougherty&Babu berechnet wurde. Der Wert von S/S' liegt bei 0,87 und deutet auf eine Barriere hin (Duffield, 2007).

VERGLEICH DER AUSWERTEMETHODEN

Die verschiedenen Auswertemethoden berechnen unter anderem Transmissivität und Speicherkoeffizienten. Je nach Auswertemethode ist es auch möglich Einflüsse bestimmter Randbedingungen mit in die Auswertung einzubeziehen. Es stellt sich allerdings die Frage, inwieweit sich die Ergebnisse der Auswertemethoden untereinander im Endeffekt wirklich unterscheiden bzw. ob ihre Ergebnisse tatsächlich die erwarteten Werte zeigen.

Je nach Pumpversuch ließen sich die Methoden besser oder schlechter anwenden. Dies hängt natürlich auch mit dem Brunnenspeichereffekt, Untergrundgegebenheiten und Anzahl der erschlossenen wasserführenden Horizonte zusammen. Erwähnt werden muss, dass nicht pauschal davon ausgegangen werden kann, dass bspw. bei einem vermuteten Brunnenspeichereffekt die Methode Papadopulos&Cooper immer gut anzuwenden ist. Es kann auch sein, dass der Wert, der mit der altbewährten Methode Cooper&Jacob berechnet wird, besser ist und umgekehrt. Deshalb ist bei jedem Pumpversuch auch jede Methode angewendet worden, weil man im Vorhinein nicht wissen konnte, wie gut welche Methode anzuwenden ist.

Im Allgemeinen haben die Auswertemethoden größtenteils für die Transmissivität Werte derselben Größenordnung ergeben und variierten nicht sehr stark, auch wenn sich die Auswertemethoden nicht gleich gut anpassen ließen. Die Speicherkoeffizienten und die spezifischen Speicherkoeffizienten variieren manchmal sehr stark in ihren Ergebnissen und ergeben öfter unrealistische Werte als bei der Berechnung der Transmissivität.

Um anzugeben, wie gut sich die Methoden zum Auswerten der Pumpversuche eigneten, werden Prozentangaben verwendet. Diese Prozentangaben sagen aus, wie gut sich die Methoden im Durchschnitt anwenden ließen. **Es wird bei der Bestimmung der Anwendbarkeit der Methoden zwischen dem Anpassen der Methode an den Kurvenverlauf und dem errechneten Ergebnis unterschieden.** Es wurden bei der Bestimmung der Anwendbarkeit der Methoden je Auswertung 3 Punkte vergeben, wobei 3 Punkte am besten sind und 1 Punkt am schlechtesten. Also gilt je höher die Punktzahl ist, desto besser wurde die Auswertemethode beurteilt. Alle Punkte der einzelnen Pumpversuche je Auswertemethode wurden summiert und anschließend der Prozentanteil anhand der maximal zu erreichenden Anzahl berechnet.

Tabelle 74: Die Prozentsätze der Methoden für jeweils die Absenkung und den Wiederanstieg, die für das Anpassen der Methode an den Kurvenverlauf des Pumpversuchs, ermittelt wurden.

Auswertemethode	Erg. für die Absenkung	Erg. für den Wiederanstieg
Cooper&Jacob	67 %	-
Theis	65 %	65 %
Papadopulos&Cooper	85 %	64 %
Barker	85 %	95 %
Dougherty&Babu	82 %	91 %
Murdoch	59 %	65 %

Bei der visuellen Betrachtung der Anwendbarkeit der Methoden fällt auf, dass Theis in der Absenkung sowie im Wiederanstieg zu ca. 65 % gut anwendbar war.

Papadopulos&Cooper sowie Barker waren zu etwa 85 % in der Absenkung gut anwendbar. Barker schnitt beim Auswerten des Wiederanstiegs sehr gut ab, nämlich zu ca. 95 % der Pumpversuche. Im Gegensatz zur Absenkung war Papadopulos&Cooper hingegen im Schnitt schlecht anwendbar und zwar nur zu etwa 64 %. Die Methode Dougherty&Babu ist in der Absenkung zu ca. 82 % gut anwendbar gewesen. Auch im Wiederanstieg überzeugte die Methode mit ca. 91 %. Murdoch war bei der Auswertung des Wiederanstiegs mit ca. 65 % besser als in der Absenkung, wo die Methode nur zu etwa 59 % überzeugte. Die Methode Cooper&Jacob hat etwa 67 % für die Absenkung erreicht. Dass Cooper&Jacob in der Absenkung und Theis im Wiederanstieg nicht immer alle Messpunkte in die Berechnung einschließen konnten, liegt daran, dass die meisten Absenkungs- und Wiederanstiegskurven nicht geradlinig verlaufen. Die anderen Methoden haben noch weitere Parameter, die zur Kurvenanpassung bis zu einem gewissen Grad verändert werden können.

Tabelle 75: Die Prozentsätze der Methoden für jeweils die Absenkung und den Wiederanstieg, die für die Ergebnisse der Parameter ermittelt wurden.

Auswertemethode	Erg. für die Absenkung	Erg. für den Wiederanstieg
Cooper&Jacob	49 %	-
Theis	44 %	78 %
Papadopulos&Cooper	59 %	56 %
Barker	64 %	63 %
Dougherty&Babu	44 %	46 %
Murdoch	78 %	44 %

Zur Anwendung der Methode gehört selbstverständlich nicht nur die visuelle Beurteilung, sondern auch die Ergebnisse für Transmissivität, Speicherkoeffizient, Durchlässigkeitsbeiwert, spezifischer Speicherkoeffizient sowie S/S'. Bei den Ergebnissen für die Transmissivität und den Durchlässigkeitsbeiwert gab es nahezu durchgehend gute Ergebnisse. Mit Cooper&Jacob gab es Probleme, wenn die Absenkungs- und Wiederanstiegskurven nicht geradlinig waren. Dies ist bspw. der Fall, wenn eine „verzögerte Entleerung“ des Aquifers eintritt oder die Förderrate stark schwankt. Bei der Berechnung des Speicherkoeffizienten gab es hin und wieder Probleme einen passenden Wert zu bekommen. Als Richtwert gilt eine Größenordnung von 10^{-5} bis 10^{-3} , weil der Wert nach Coldewey & Hölting, 2013 in diesem Bereich für gespannte Grundwasserleiter liegen sollte. Die Methoden Cooper&Jacob sowie Theis schnitten bei der Berechnung der Absenkung mit jeweils ca. 49 % bzw. ca. 44 % am schlechtesten ab. Bei der Berechnung des Wiederanstiegs hat die Methode Theis die besten Ergebnisse mit ca. 78 % gebracht. Die Methode Papadopulos&Cooper hatte zu etwa 59 % gute Ergebnisse bei der Absenkung und beim Wiederanstieg etwa 56 %. Die Methoden Barker und Dougherty&Babu hatten jeweils ca. 64 % bzw. ca. 63 % bei der Absenkung und beim Wiederanstieg ca. 44 % bzw. 46 %. Murdoch hatte bei der Berechnung der Absenkung die besten Ergebnisse mit ca. 78 % und im Wiederanstieg ca. 44 %.

Wenn die Kurvenanpassung der Methode nicht zu 100 % zu den Absenkungs-/Wiederanstiegskurven stimmt, entsprechen auch die Ergebnisse nicht zu 100 % dem vorliegenden Aquifer, sondern werden verfälscht. Bei der Methode Murdoch war dies bspw. der Fall. Denn bei der Anpassung der Auswertungskurve an die Absenkungskurve der Pumpversuche hatte diese Methode die schlechteste Prozentzahl, aber bei den Ergebnissen für die Absenkung hat die Methode eine sehr hohe Prozentzahl erreicht.

AUSWERTUNG DER DRUCKSPIEGELMESSUNGEN

Zunächst werden die Grundwasserspiegel der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 mit den Niederschlagswerten verglichen, um eine mögliche Abhängigkeit der beiden Messdaten zueinander zu überprüfen. Anschließend werden die Wasserspiegel aller 4 Brunnen miteinander verglichen, um ähnliche Verläufe der Ganglinien zu überprüfen. Da es zum Arteser Grafendorf III erst ab 01.06.2012 Daten gibt, folgt eine zusätzliche Darstellung der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 und dem Arteser Grafendorf III gemeinsam.

Analyse des Niederschlags und der Grundwasserspiegel

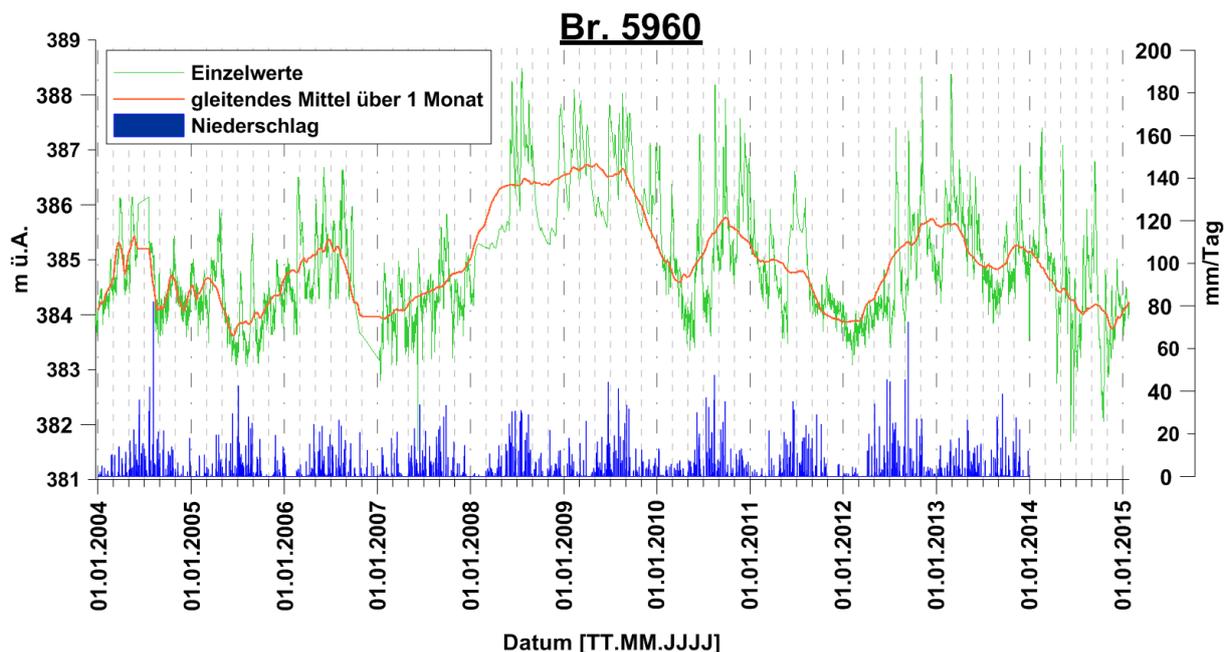


Abbildung 136: Messdaten des Brunnens 5960 vom 01.01.2004 bis 26.01.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der täglichen Werte in m ü. A. dar.

Der Brunnen 5960 reagiert nicht direkt auf lokale Niederschlagsereignisse (Abbildung 136). Möglicherweise ist eine verzögerte Reaktion gegeben. Von März bis April 2004 gab es einen Peak in der Ganglinie, der nicht auf den Niederschlag zurückzuführen ist, da der Niederschlag bei etwa 50 mm/Monat lag. Daraufhin folgte im Mai/Juni 2004 ein höheres Niederschlagsereignis (ca. 180 mm/Monat), wobei ein gleichwertiger Peak der Wasserspiegelganglinie, wie zuvor im März/April 2004, zu sehen ist. Ein weiteres höheres Niederschlagsereignis, das so hoch ist wie jenes im Mai/Juni 2014, folgte im August 2004 und zeigte in der Ganglinie des Wasserspiegels einen sinkenden Trend. Im Juli 2005 und August 2005 (jeweils 160 – 150 mm/Monat) erfolgten die nächsten höheren Niederschlagsereignisse, welche in der Wasserspiegelganglinie keine sichtbare Auswirkung zeigten. Ab August 2005 stieg der Kurvenverlauf des Wasserspiegels stetig an, obwohl das nächste höhere Niederschlagsereignis erst im August 2006 (ca. 125 mm/Monat) stattfindet. Ab August 2006 sank der Wasserspiegel des Brunnens, trotz des letzten Niederschlags im August 2006 (ca. 125 mm/Monat), sogar weiter. Ab dem 01.01.2007 stieg der Wasserspiegel stetig an, wobei der letzte höhere Niederschlag (ca. 125 mm/Monat) mit August 2006 stattfand. Nichtsdestotrotz stieg der Wasserspiegel

immer weiter an. Für Juni 2008 (ca. 200 mm/Monat) ist der nächste niederschlagsreiche Monat verzeichnet worden. Zur selben Zeit ist allerdings auch ein hoher Peak in der Ganglinie des Wasserspiegels erkennbar. Die Ganglinie blieb hingegen mehr oder weniger gleich hoch, obwohl der Niederschlag geringer wurde und erst im Juni 2009 (ca. 175 mm/Monat) die folgenden höheren Niederschlagsereignisse verzeichnet worden sind. Im August 2010 reagierte der Brunnen auch nicht auf den Niederschlag (ca. 150 mm/Monat), da die Kurve des Wasserspiegels eine starke Absenkung aufwies. Von Oktober 2011 bis April 2012 ging der Wasserspiegel stetig zurück, unabhängig von Niederschlagsereignissen. Auch der hohe Niederschlag von Juni 2012 (ca. 210 mm/Monat) hat keinen sichtbaren Effekt auf den Wasserspiegel des Brunnens (Abbildung 136).

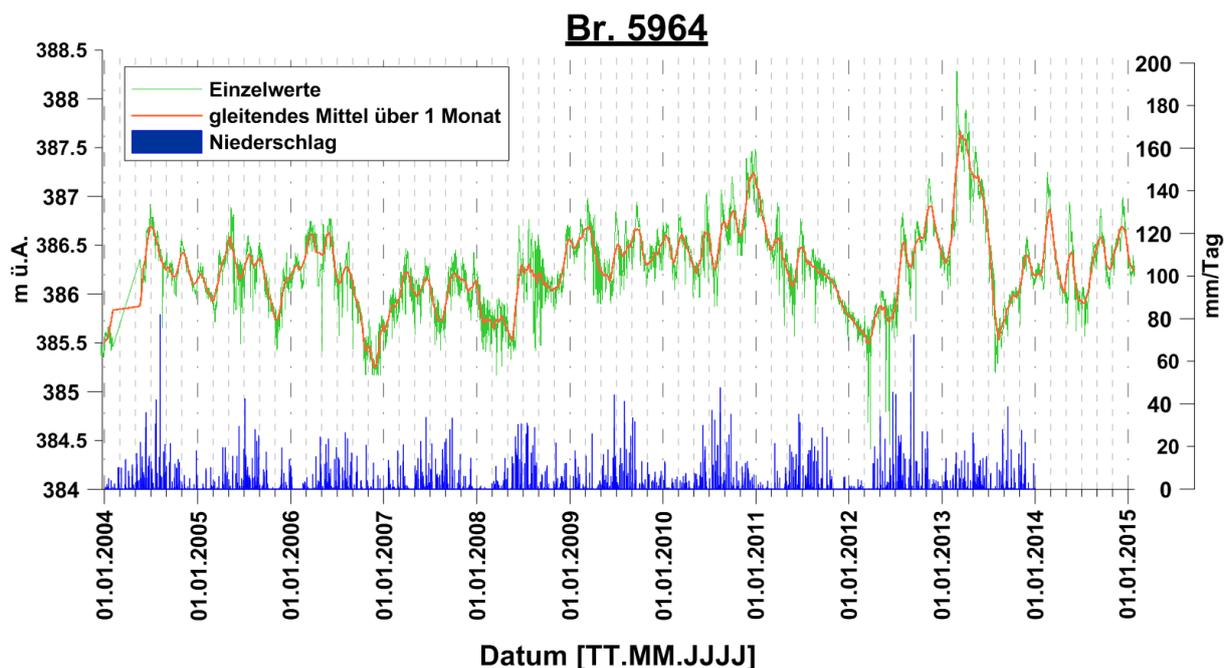


Abbildung 137: Messdaten des Brunnens 5964 vom 01.01.2004 bis 26.01.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der tägliche Werte in m ü. A. dar. Die Pfeile markieren Absenkungen oder Steigungen im Wasserspiegel, die unabhängig oder abhängig von Niederschlagsereignissen auftreten.

Bei dem Brunnen 5964 stimmen die Peaks des Wasserspiegels vorwiegend auch nicht direkt mit den Niederschlagsereignissen überein (Abbildung 137). Es besteht allerdings die Möglichkeit einer verzögerten Reaktion. Vorallem ist auffällig, dass die Ganglinie starke Peaks aufwies, wenn keine hohen Niederschlagsereignisse verzeichnet worden sind. Im Mai/Juni 2004 gab es ein höheres Niederschlagsereignis (ca. 180 mm/Monat), wobei auch in der Ganglinie des Wasserspiegels ein Peak zu sehen war. Ein weiteres höheres Niederschlagsereignis, das so hoch war wie jenes im Mai/Juni 2004, erfolgte im August 2004, wohingegen in der Wasserspiegelganglinie ein sinkender Trend erkennbar war. Im Juli 2005 und August 2005 (jeweils 160 – 150 mm/Monat) erfolgten die nächsten höheren Niederschlagsereignisse. Trotz kaum vorhandener Niederschläge stieg der Wasserspiegel bis Juli 2006 immer weiter an. Im Kurvenverlauf des Wasserspiegels ist keine Auswirkung des Niederschlags erkennbar, da zunächst ein hoher Peak im Mai 2005 vorhanden war, der allerdings bis zum Juni 2005 absank und daraufhin wieder bis Juli 2006 leicht anstieg. Das Niederschlagsereignis von August 2006 ist im Verlauf des Wasserspiegels also nicht zu sehen und war eigentlich zu diesem Zeitpunkt wieder am Absinken. Ab 01.01.2007 stieg der Wasserspiegel stetig an, wobei

der letzte höhere Niederschlag (ca. 125 mm/Monat) mit 01.09.2007 aufhörte. Nichtsdestotrotz stieg der Wasserspiegel bis zum April 2007 immer weiter an. Obwohl dann wieder Niederschläge vom Mai 2007 bis September 2007 (ca. 115 bis 125 mm/Monat) vermehrt verzeichnet worden sind, ändert sich der Wasserspiegel kaum. Im Juni 2008 (ca. 200 mm/Monat) ist der nächste niederschlagsreiche Monat verzeichnet worden. Zur selben Zeit war allerdings kein Peak in der Ganglinie des Wasserspiegels erkennbar, aber direkt ein Monat später im Juli 2008 ist eine Erhöhung des Wasserspiegels verzeichnet worden. Die Ganglinie blieb daraufhin mehr oder weniger gleich hoch und wurde ab 01.01.2009 immer höher, obwohl der Niederschlag geringer wurde. Erst im Juni 2009 (ca. 175 mm/Monat) und im August 2010 (ca. 150 mm/Monat) werden die nächsten höheren Niederschläge verzeichnet. Die Ganglinie des Wasserspiegels zeigte keine Reaktion auf den Niederschlag. Ein hoher Peak der Wasserspiegelganglinie wurde am 01.01.2011 verzeichnet. Daraufhin sank der Wasserspiegel bis April 2012 stetig und unabhängig von Niederschlagsereignissen. Der hohe Niederschlag von Juni 2012 (ca. 210 mm/Monat) hat keinen sichtbaren Effekt auf den Wasserspiegel des Brunnens (Abbildung 137).

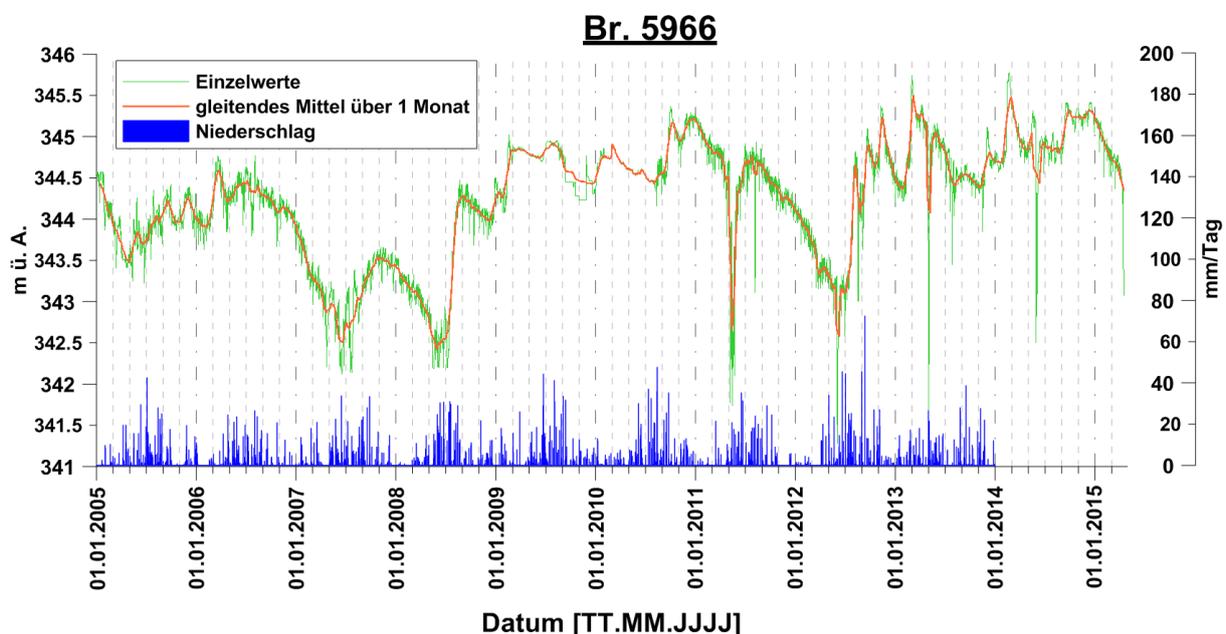


Abbildung 138: Messdaten des Brunnens 5966 vom 02.01.2005 bis 14.04.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der täglichen Werte in m ü. A. dar. Die Pfeile markieren Absenkungen oder Steigungen im Wasserspiegel, die unabhängig oder abhängig von Niederschlagsereignissen auftreten.

Im Kurvenverlauf des Wasserspiegels des Brunnens 5966 sind unabhängig von hohen Niederschlagsereignissen höhere oder niedrigere Werte zu sehen (Abbildung 138). Möglicherweise ist eine verzögerte Reaktion gegeben. Ab Mai 2005 stieg der Wasserspiegel bis November 2005 stetig an. Hohe Niederschlagsereignisse werden im Juli 2005 und August 2005 (jeweils 160 – 150 mm/Monat) verzeichnet. Danach ist der Niederschlag wieder geringer geworden. Ab August 2006 fiel der Wasserspiegel rapide, obwohl im August 2006 (ca. 125 mm/Monat) ein höherer Niederschlag verzeichnet worden ist. Im November 2007 ist ein weiterer Peak im Wasserspiegel zu sehen, wobei zu diesem Zeitraum kaum Niederschläge verzeichnet worden sind. Im Juni 2008 (ca. 200 mm/Monat) gab es einen erhöhten Niederschlag. Im Juli 2008 gab es einen rapiden Anstieg des Wasserspiegels, der Anfang September 2008 seinen Höhepunkt erreichte

(ca. 344,30 m ü. A.). Unabhängig von Niederschlägen blieb der Wasserspiegel bis Jänner 2011 hoch und hatte daraufhin bis Juli 2012 einen abfallenden Trend. Der nächste Anstieg folgte im September 2012, wobei im Juli 2012 ein erhöhter Niederschlag stattfand (ca. 210 mm/Monat). Unabhängig von weiteren Niederschlagsereignissen ist der Wasserspiegel ab Oktober 2012 wieder ansteigend gewesen (Abbildung 138).

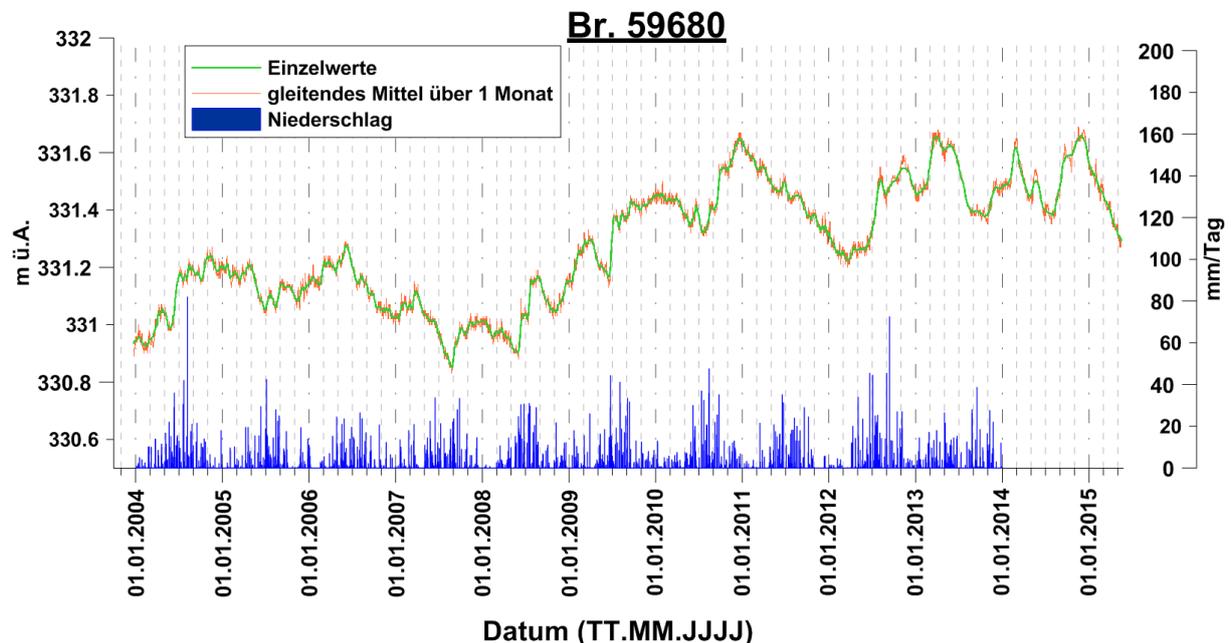


Abbildung 139: Messdaten des Brunnens 59680 vom 30.09.2003 bis 17.05.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der tägliche Werte in m ü. A. dar. Die Pfeile markieren Absenkungen oder Steigungen im Wasserspiegel, die unabhängig oder abhängig von Niederschlagsereignissen auftreten.

Der Niederschlag hat wie bei den zuvor beschriebenen Brunnen keinen direkten Einfluss auf den Brunnen 59680 (Abbildung 139). Eine verzögerte Reaktion kann nicht ausgeschlossen werden. Im Mai 2004 sind hohe Niederschlagsmengen verzeichnet worden (ca. 200 mm/Monat) und gleichzeitig war auch ein Peak in der Ganglinie des Wasserspiegels vorhanden. Allerdings blieb der Wasserspiegel bis Juli 2005 hoch und sank dann erst ab, obwohl es ansonsten keine starken Niederschlagsereignisse gab. Darüber hinaus kam die Absenkung im Juli 2005 zustande, auch wenn es im Juli 2005 und August 2005 (jeweils 160 – 150 mm/Monat) hohe Niederschlagsereignisse gab. Ab Juni 2006 ist der Trend unabhängig von Niederschlägen am Absinken gewesen. Es gab zwar im April 2007 einen Peak in der Wasserspiegelkurve, aber zu diesem Zeitpunkt ist kein erhöhter Niederschlag verzeichnet worden. Mit September 2007 stieg der Wasserspiegel wieder an und sank mit Februar 2007 wieder. In diesem Zeitraum sind kaum Niederschläge vorhanden gewesen. Ein erhöhter Niederschlag wurde im Juni 2008 (ca. 200 mm/Monat) verzeichnet, wobei der nächste größere Anstieg des Wasserspiegels erst August 2008 zu sehen gewesen ist. Daraufhin stieg der Wasserspiegel unabhängig von Niederschlagsereignissen bis Jänner 2011 stetig an. Von Jänner 2011 bis März 2012 sank der Wasserspiegel immer weiter und hatte trotz höherer Niederschlagsereignisse keinen Effekt auf den Wasserspiegel. Der erhöhte Niederschlag von Juli 2012 (ca. 210 mm/Monat) ist zur gleichen Zeit vorhanden gewesen wie die Wasserspiegelerhöhung des Brunnens, jedoch sind die weiteren Peaks des Wasserspiegels trotz nicht vorhandener Niederschlagsereignisse gegeben gewesen (Abbildung 139).

Visueller Ganglinienvergleich der Grundwasserspiegel der einzelnen Brunnen

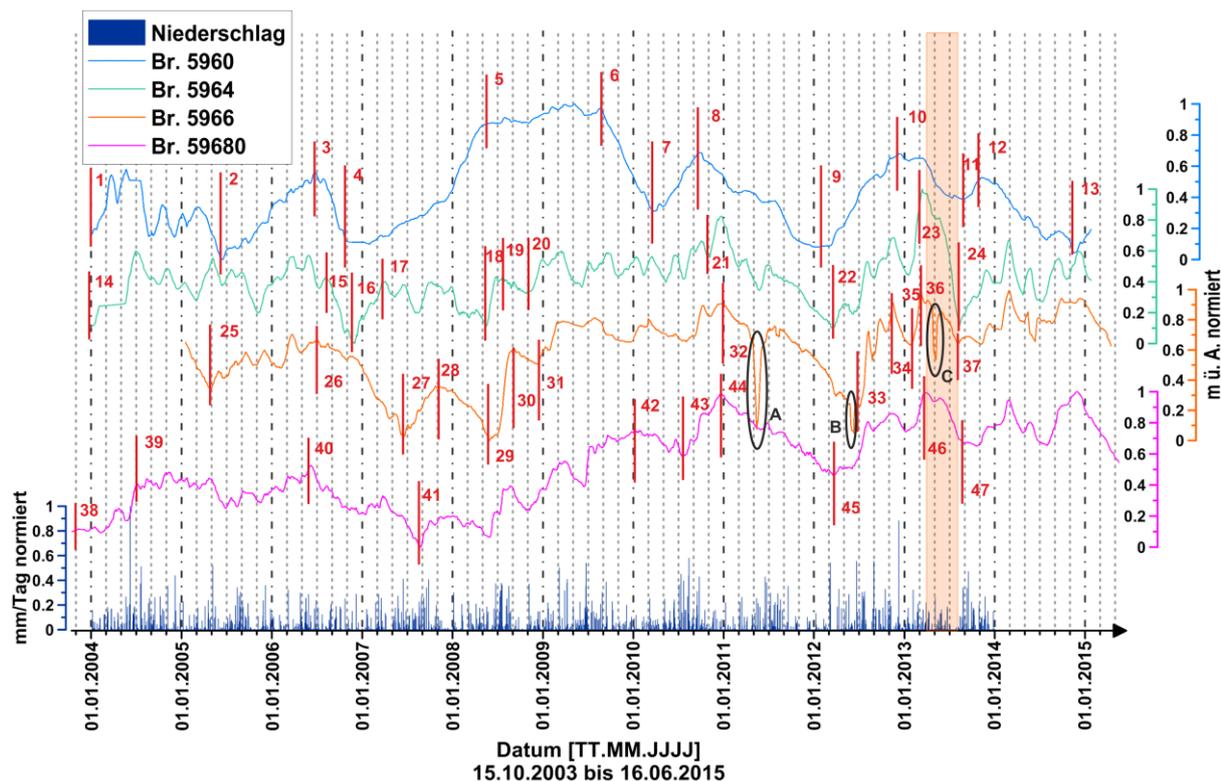


Abbildung 140: Dargestellt sind Wasserspiegel der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 normiert zwischen 0 und 1 und Niederschlag in mm/Tag bis Ende des Jahres 2012. Im orangenen Bereich ist der Zeitraum während der Verpressarbeiten (01.04.2013 bis 01.08.2013) dargestellt. Die Abschnitte, welche mit den Zahlen 1 bis 47 gekennzeichnet sind, kennzeichnen Trendverläufe in diesem Zeitraum.

Der Wasserspiegel des Brunnens 5960 schwank zwischen 380,09 und 388,49 m ü. A und wies keine durchgehende Periodizität auf (Abbildung 140). Abschnitt 1 bis 2 (Jänner 2004 bis Juli 2005) ist ein schwankender Wasserspiegel mit einem leicht absenkenden Trend präsent gewesen. Daraufhin stieg der Wasserspiegel mit leichten Schwankungen über ein Jahr hinweg stetig an (Abschnitt 2 bis 3). Ein rapid abfallender Trend ist in Abschnitt 3 bis 4 vorhanden gewesen. Der nächste Abschnitt 4 bis 5 war durch einen Anstieg gekennzeichnet und es folgte in Abschnitt 5 bis 6 ein nahezu gerader Verlauf des Wasserspiegels. Es kam danach zu einem Abstieg des Grundwasserspiegels in Abschnitt 6 bis 7 und daraufhin wieder ein leichter Anstieg, der durch einen erneuten Abstieg in Abschnitt 8 bis 9 unterbrochen wurde. Der Wasserspiegel stieg von Abschnitt 9 bis 10 wieder an und blieb bis zu Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013) flach. Ab Beginn der Verpressarbeiten sank der Wasserspiegel und bis 01.09.2013 hielt die Absenkung an. Zwischen dem Abschnitt 11 und 12 gab es eine leichte Erhöhung, woraufhin eine länger anhaltende Absenkung (November 2011 bis November 2014) folgte. Anschließend stieg der Wasserspiegel. Eine Periodizität ist zwischen den Abschnitten 2 bis 4, 7 bis 9 sowie 9 bis 11 vorhanden gewesen. Über den gesamten Zeitraum betrachtet ist zu erkennen, dass der Wasserspiegel des Brunnens mit der Zeit einen gleichbleibenden Wasserspiegel hatte, aber starke Schwankungen aufzeigte (Abbildung 140).

Der Wasserspiegel des Brunnens 5964 schwank zwischen 380,09 und 384,80 m ü. A. (Abbildung 140). Die Schwankungen blieben von Jänner 2004 bis August 2006 relativ

gleichmäßig. Zwischen Abschnitt 15 und 16 fiel der Wasserspiegel im Vergleich zum vorherigen Verlauf innerhalb von 4 Monaten stärker ab. Anschließend stieg der Wasserspiegel zwischen Abschnitt 16 und 17 ebenfalls innerhalb von 4 Monaten auf ein gleiches Level wie bei Abschnitt 15 an. Zwischen Abschnitt 17 und 18 gab es einen regelmäßig schwankenden Verlauf ohne einen bevorzugten Trend. Zwischen dem Abschnitt 18 und 20 gab es allgemein einen steigenden Trend. Zwischen dem Abschnitt 20 und 21 folgte ein schwankender Verlauf des Wasserspiegels, wobei es keinen erkennbaren absteigenden oder aufsteigenden Trend gab. Anschließend fiel der Wasserspiegel länger als 1 Jahr zwischen Abschnitt 21 und 22 stark ab. Daraufhin stieg der Wasserspiegel wieder über 1 Jahr stark an. Mit Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013) fiel der Wasserspiegel rapide und stark ab. Mit Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013) stieg der Wasserspiegel wieder an. Über den gesamten Zeitraum betrachtet, ist zu erkennen, dass der Wasserspiegel mit der Zeit immer weiter angestiegen ist (Abbildung 140).

Der Brunnen 5966 weist einen Schwankungsbereich von 339,98 bis 344,34 m ü. A. auf. Der Kurvenverlauf des Wasserspiegels von Brunnen 5966 hatte zwischen Abschnitt 25 und 26 einen leichten Anstieg, wobei die Schwankungen nicht so stark waren wie bei Brunnen 5964 (Abbildung 140). Zwischen Abschnitt 25 und 26 ist ein leichter Anstieg zu erkennen gewesen. Daraufhin folgte zwischen Abschnitt 26 und 27 ein starker Abfall des Wasserspiegels, der etwa 10 Monate andauerte. Zwischen Abschnitt 27 und 29 befand sich zunächst ein Anstieg und daraufhin ein Abstieg des Wasserspiegels. Ein rapider Anstieg des Wasserspiegels fand zwischen Abschnitt 29 und 30 statt. Daraufhin gab es einen weiteren leichten Anstieg bis zu Abschnitt 32. Der darauffolgende abfallende Trend des Kurvenverlaufs des Wasserspiegels zwischen Abschnitt 32 und 33 dauerte fast 1 und ½ Jahre. Ein rapider und leicht schwankender Anstieg erfolgte zwischen Abschnitt 33 und 34. Daraufhin blieb der Wasserspiegel, allerdings schwankend, mehr oder weniger gleich. Mit Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013) folgte ein Abfall des Wasserspiegels und blieb bis zur Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013) erhalten. Die Bereiche A, B und C stellen Ausreiser dar. Es sieht so aus, als wäre in diesem Zeitraum eine große Menge an Wasser in näherer Umgebung abgepumpt worden. Ab Beendigung der Verpressarbeiten stieg der Wasserspiegel wieder leicht an. Der Wasserspiegel des Brunnens 5966 ist mit der Zeit immer weiter angestiegen und hat mit Beendigung der Verpressarbeiten seinen höchsten Anstieg erreicht (Abbildung 140).

Der Brunnen 59680 hatte im Vergleich zu den restlichen Brunnen einen relativ ruhigen Verlauf des Wasserspiegels ohne starke Peaks oder Schwankungen (Abbildung 140). Der Schwankungsbereich liegt bei 330,83 bis 331,24 m ü. A. Zwischen Abschnitt 38 und 39 gab es einen ansteigenden Trend im Kurvenverlauf des Wasserspiegels. Nach dem ansteigenden Trend, der etwa 8 Monate andauerte, folgte zwischen Abschnitt 39 und 40 ein gleichbleibender Verlauf ohne Trend, der fast 2 Jahre andauerte. Daraufhin gab es zwischen Abschnitt 40 und 41 einen Abfall im Kurvenverlauf. Nach diesem Abfall folgte zwischen Abschnitt 41 und 44 ein stetiger Anstieg des Wasserspiegels, der ca. 3 ½ Jahre andauerte. Zwischen Abschnitt 44 und 45 ist ein absteigender Trend im Wasserspiegel zu erkennen gewesen. Anschließend folgte ein Anstieg des Wasserspiegels zwischen Abschnitt 45 und 46. Während den Verpressarbeiten (01.04.2013 bis 01.08.2013) ist ein absteigender Trend vorhanden gewesen. Daraufhin, ab Beendigung der Verpressarbeiten, stieg der Wasserspiegel wieder an. Über den gesamten Zeitraum stieg der Wasserspiegel immer weiter an und hatte ab Beendigung der Verpressarbeiten einen anhaltend hohen Wasserspiegel (Abbildung 140).

Der Wasserspiegeldruck des Artesers Grafendorf III war schwankend. Die 4 Ausreiser A, B, C und D (Abbildung 141) sind höchstwahrscheinlich auf eine erhöhte Pumpmenge zurückzuführen. Das Membranventil, das für die Regulierung der Pumprate verwendet wird, war nicht immer richtig eingestellt und musste deshalb hin und wieder nachjustiert werden. Durch das Nachjustieren können sich diese Ausreiser ergeben haben. Der Schwankungsbereich liegt zwischen 409,69 und 409,89 m ü. A. Der Wasserspiegeldruck hatte nach einer Absenkung zu Beginn der Messdaten einen hohen Anstieg zwischen dem Abschnitt 1 und 2. Zwischen dem Abschnitt 2 und 3 blieb der Wasserspiegeldruck des Brunnens zwar schwankend aber mehr oder weniger auf einer Ebene. Zwischen dem Abschnitt 3 und 4 ist ebenfalls ein gleichbleibender Wasserspiegeldruck vorhanden gewesen, der aufgrund des Ausreisers A aus dem Gleichgewicht gebracht wurde. Daraufhin stieg der Wasserspiegeldruck zwischen Abschnitt 4 und 5 immer weiter an. Ab Abschnitt 5 bis zu Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013) ist ein relativ gleichbleibender Wasserdruck zu beobachten gewesen. Mit Beginn der Verpressarbeiten sind wieder 2 Ausreiser (B, C) vorhanden gewesen. Insgesamt hatte der Wasserspiegel allerdings einen absteigenden Trend. Mit Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013) ist, bis auf den Ausreiser D, eine Steigung des Wasserspiegeldrucks gegenwärtig gewesen. Über den gesamten Zeitraum gesehen, ist eine Steigung des Wasserdrucks zu erkennen (Abbildung 141).

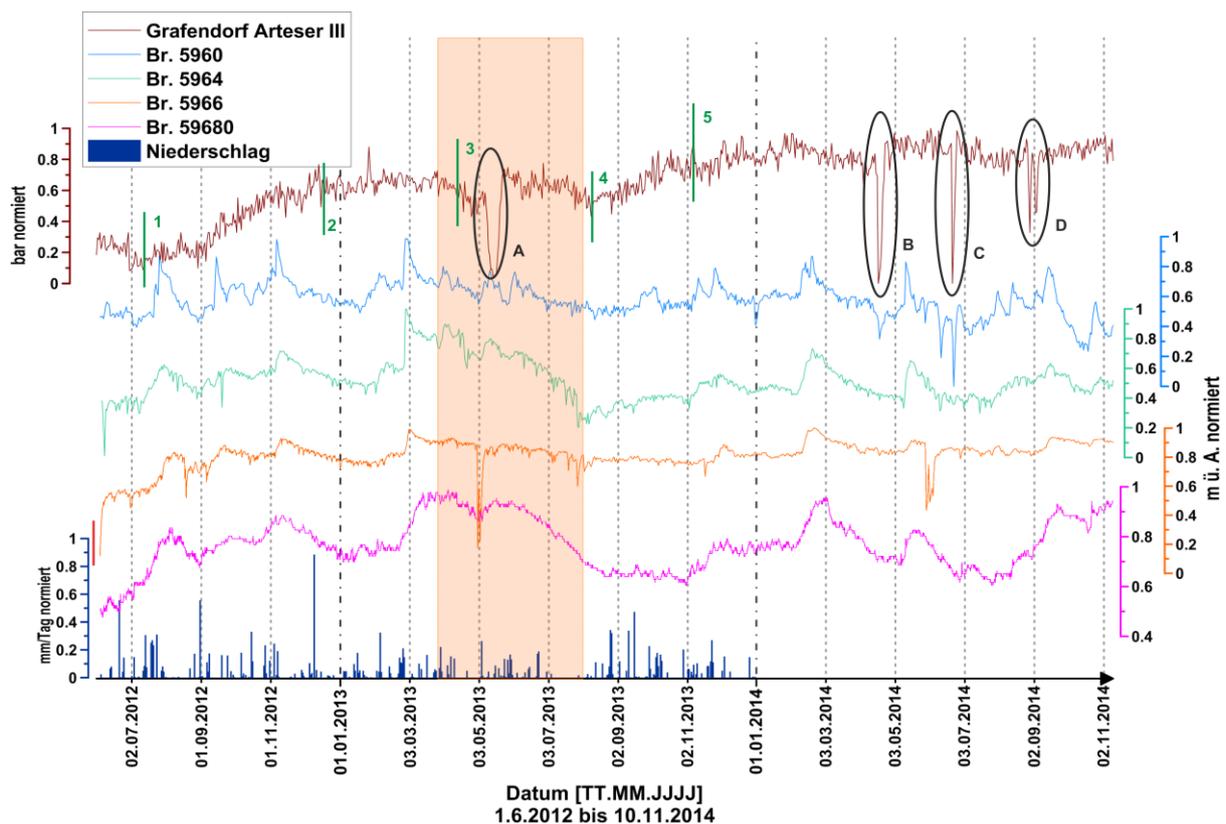


Abbildung 141: Absolutwerte des Artesers Grafendorf III und der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680. Die Niederschläge sind in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013 dargestellt. Zeitlich interessante Abschnitte sind mit grünen Balken unterteilt und nummeriert. Im orangenen Bereich ist der Zeitraum während der Verpressarbeiten (01.04.2013 bis 01.08.2013) dargestellt. Im roten Bereich ist der Zeitraum nach den Verpressarbeiten dargestellt (01.08.2013 bis 16.06.2015).

Trendvergleich aller Grundwasserspiegel miteinander

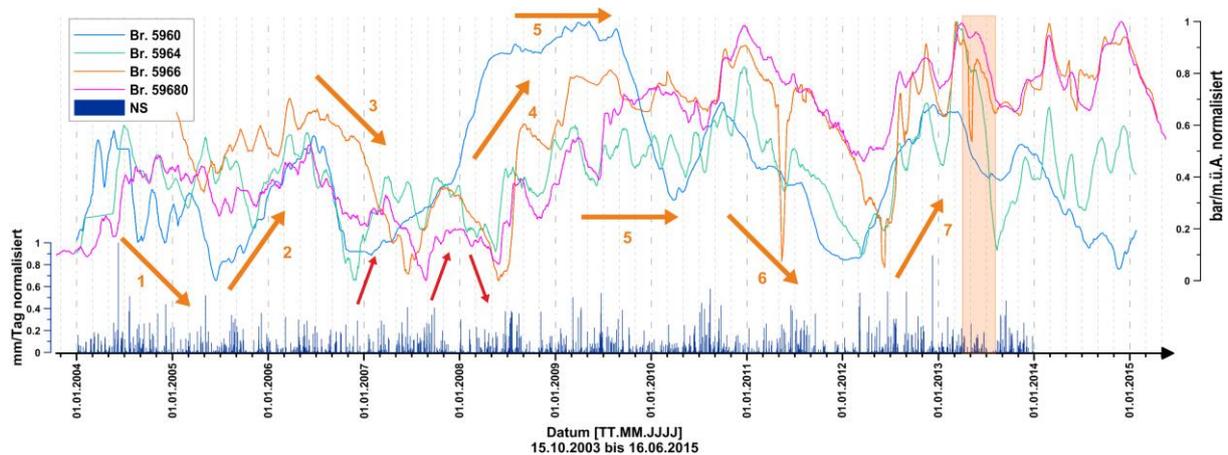


Abbildung 142: Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 auf einer gemeinsamen Achse dargestellt, um die Ganglinien der Wasserspiegel vergleichen zu können. Die orangenen Pfeile stellen den allgemeinen Trend der Ganglinien dar und sind je nach Abschnitt von 1 bis 7 nummeriert. Die roten Pfeile stellen einen allgemeinen Trend dar, der sich nur auf die Brunnen 5964, 5966 und 59680 bezieht.

Es auffällig, dass die Wasserspiegel der Brunnen gleiche Trends aufwiesen. Die Wasserspiegel der Brunnen zeigten sehr oft einen gemeinsamen Trend (Abbildung 142). Zunächst ist ein absteigender Trend (Abschnitt 1) bei den Brunnen 5960 und 5666 präsent gewesen. Es ist nicht genau zu erkennen, welcher Brunnen zuerst einen absteigenden Trend hatte. Bei den Brunnen 5964 und 5966 stieg der Wasserspiegel zuerst an (Abschnitt 2). Daraufhin stieg der Wasserspiegel des Brunnen 5960 an (Abschnitt 2). Der Wasserspiegel des Brunnen 59680 nahm als letzter zu (Abschnitt 2). Daraufhin war in allen 3 Brunnen ein absteigender Trend verzeichnet worden (Abschnitt 3). Ein lokales Maximum ist bei 3 Brunnen in der Periode von Ende 2006 bis zum Frühjahr 2008 vorhanden gewesen (rote Pfeile). Dabei stieg der Wasserspiegel des Brunnen 5964 als erstes an. Daraufhin nahm der Wasserspiegel des Brunnen 5966 zu. Der Brunnen 59680 hatte als letzter einen ansteigenden Wasserspiegel. Mitte Mai 2008 stiegen die Wasserspiegel auch in der Reihenfolge 5964, 5966, 59680 an, wobei der zeitliche Unterschied hier nicht so groß war wie beim vorherigen Anstieg (Abschnitt 4). Der Brunnen 5960 stieg währenddessen stetig an (Abschnitt 4) und ist ab Mitte Mai 2008 mehr oder minder konstant (Abschnitt 5). Die restlichen 3 Brunnen zeigten ab Beginn des Jahres 2009 bis Mitte 2010 ebenfalls einen konstanten Wasserspiegel (Abschnitt 5). Allerdings waren die Schwankungen des Wasserspiegels stärker als beim Brunnen 5960. Darauffolgend zeigte sich ein absteigender Trend in allen Brunnen (Abschnitt 6). Der Brunnen 5960 sank als erster (Abschnitt 6). Brunnen 5964, 5966 und 59680 hatten fast zum selben Zeitpunkt ein absteigendes hydraulisches Potential (Abschnitt 6). Im nachfolgenden steigenden Trend (Abschnitt 7) nahm der Wasserspiegel aller 4 Brunnen in folgender Reihenfolge zu: 5960, 5964, 5966, 59680.

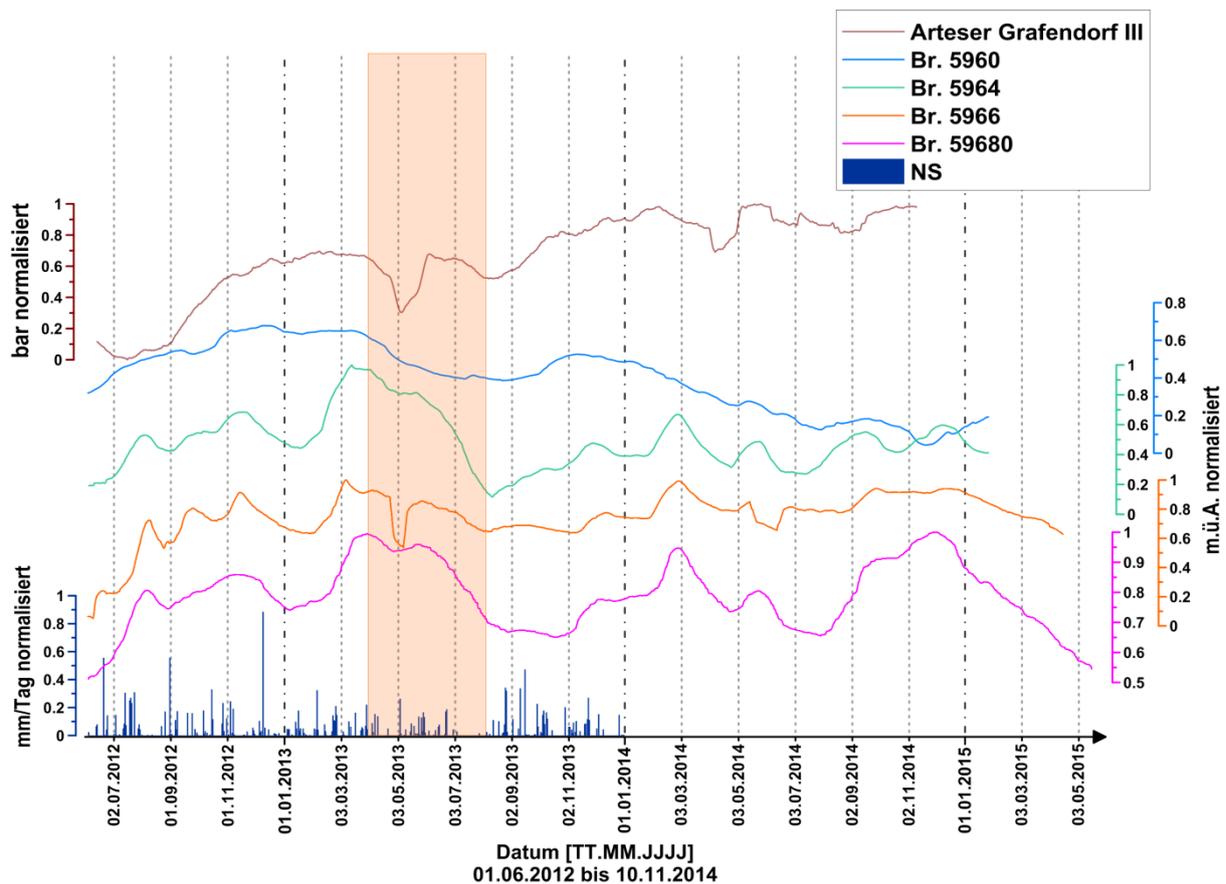


Abbildung 143: Grundwasserspiegelhöhen der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 und Arteser Grafendorf III. Das orange Feld stellt die Periode der Verpressarbeiten dar (01.04.2013 bis 01.08.2013)

Der Arteser Grafendorf III sowie die restlichen Brunnen zeigten einen Anstieg bis Mitte März 2013. Ab den Verpressarbeiten (April 2013) ist ein eindeutig absenkender Trend in allen Brunnen vorhanden gewesen. Der Brunnen 59680 reagierte zunächst nur mit einem leicht absenkenden Trend. Daraufhin sank er ab Juni 2013 plötzlich stark ab. Nach den Verpressarbeiten hatten nicht mehr alle Brunnen einen gleichen Trend. Brunnen 5960 hatte einen absenkenden Trend, während der Wasserdruck des Artesers Grafendorf III deutlich anstieg. Die Brunnen 5964 und 5966 reagierten fast gleich, denn sie hatten einen leichten Anstieg. Der Brunnen 59680 schwank nach den Verpressarbeiten stärker als die restlichen Brunnen. Über die gesamte Beobachtungsperiode betrachtet, blieb der Brunnen mehr oder weniger konstant (Abbildung 143).

KORRELATIONSANALYSE

Autokorrelation der Brunnen

Brunnen 5964 und Brunnen 5966 zeigen bis 60 Tagen ($k(\text{lags})=60$) eine ähnlich abfallende Kurve. Ab 60 Tagen bleibt die Kurve des Brunnens 5964 relativ konstant, wobei bei 100 Tagen ($k(\text{lags})=100$) ein leichter Peak zu sehen ist. Die Kurve des Brunnens 5966 fällt stetig weiter. Der Brunnen 5960 sinkt am schnellsten ab und hat genau wie Brunnen 5964 einen weiteren Peak bei 100 Tagen ($k(\text{lags})=100$) (Abbildung 144). Der Arteser Grafendorf III zeigt einen relativ flachen Kurvenverlauf (Abbildung 145). Der Kurvenverlauf ist von der Steigung her in etwa so wie bei Brunnen 5964 und Brunnen 5966 bei 30 Tagen ($k(\text{lags})=30$).

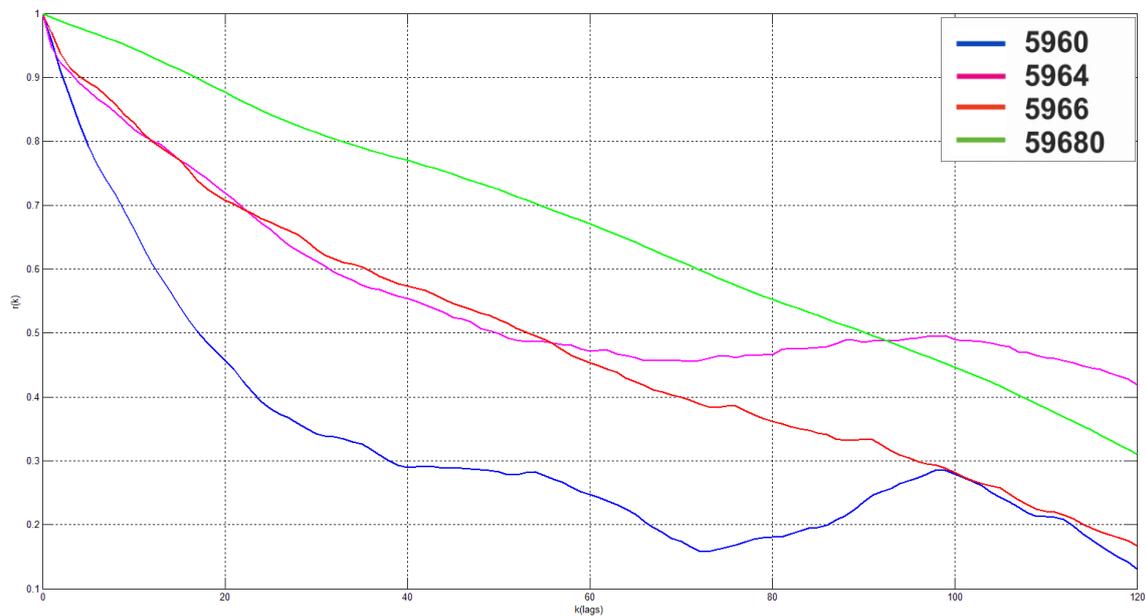


Abbildung 144: Autokorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5968 und 59680 vom 01.01.2010 bis 01.04.2013

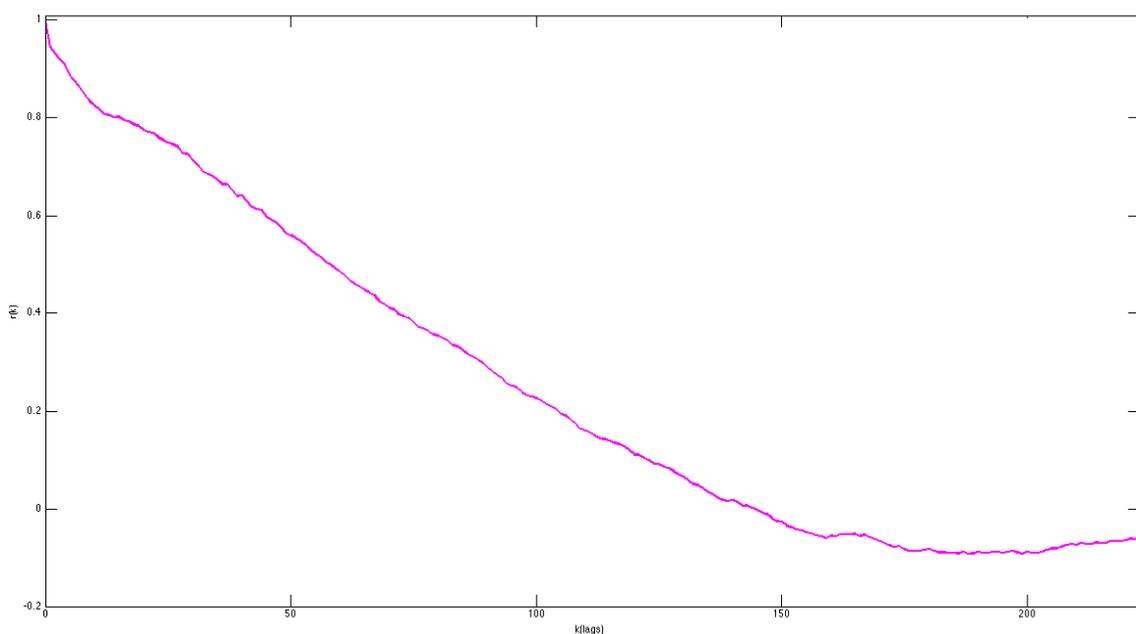


Abbildung 145: Autokorrelation des Artesers Grafendorf III vom 01.06.2012 bis 1.4.2013

Nach den Verpressarbeiten hat der Brunnen 59680 wieder einen relativ stetigen Verlauf und liegt bis 60 Tagen ($k(\text{lags})=60$) am flachsten (Abbildung 146). Die restlichen Brunnen reagieren sehr ähnlich bis zu 20 Tagen ($k(\text{lags})=20$). Danach verlaufen die Kurven der Brunnen 5960 und 5964 in etwa gleich, wohingegen die Kurve des Brunnen 5966 flacher ist. Die Kurve des Artesers Grafendorf III fällt sehr stark ab und ist bereits ab ca. 5 Tagen bei $r(k)=0,4$ (Abbildung 147).

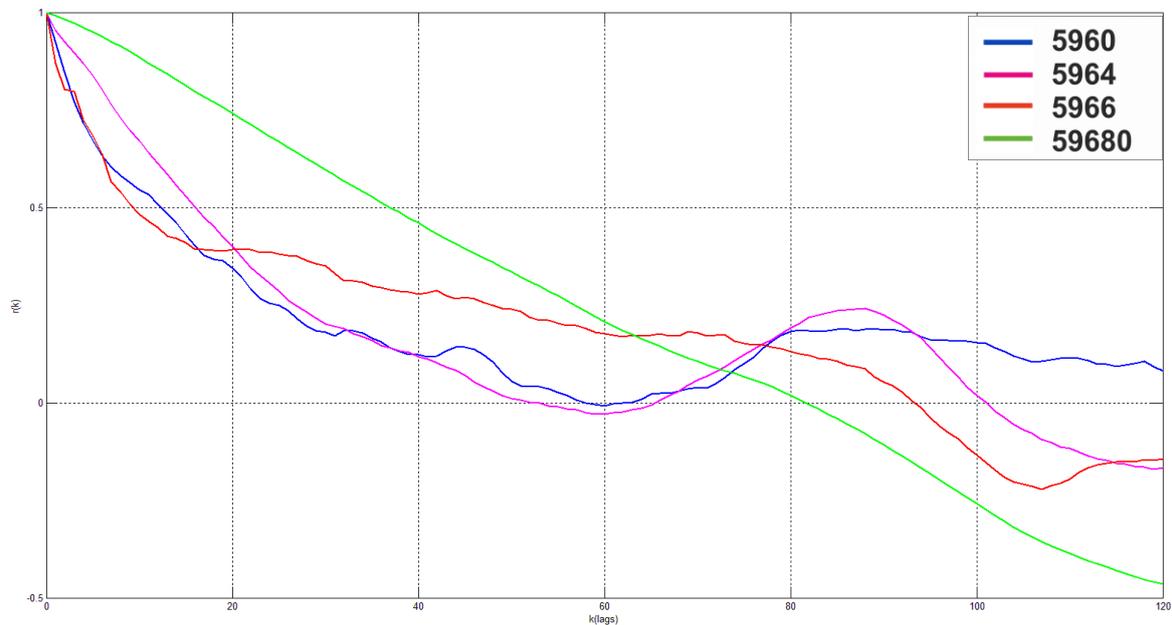


Abbildung 146: Autokorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 ab Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013).

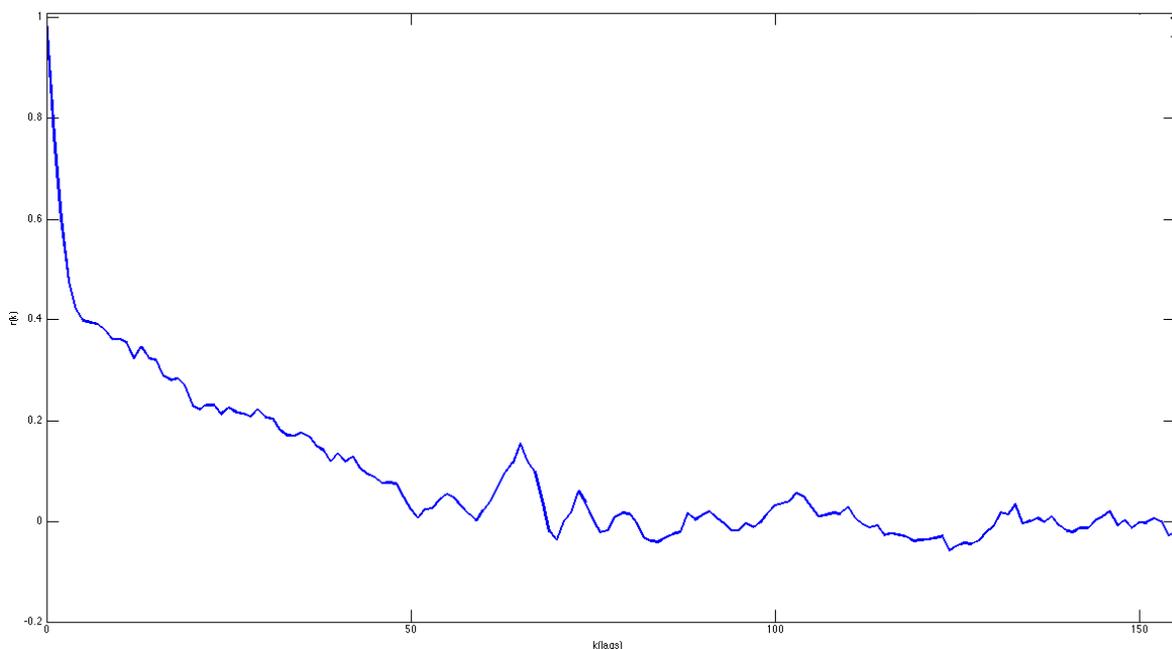


Abbildung 147: Autokorrelation Arteser Grafendorf III ab Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013 bis 10.11.2014).

Der Brunnen 59680 reagiert vor und nach den Verpressarbeiten gleich langsam in der Autokorrelation, das heißt die Daten korrelieren gut. Vor den Verpressarbeiten hat der Brunnen 5960 die geringste Korrelation der eigenen Daten und nach den

Verpressarbeiten ist die Korrelation noch geringer als vor den Verpressarbeiten. Die Brunnen 5964 und 5966 korrelieren vor den Verpressarbeiten etwa gleich. Nach den Verpressarbeiten reagiert der Brunnen 5964 schlechter als der Brunnen 5966. Der Arteser Grafendorf III reagiert vor den Verpressarbeiten sehr langsam und korreliert sehr gut mit den eigenen Daten. Nach den Verpressarbeiten ist dies nicht mehr der Fall, da die Kurve sehr steil und schnell abfällt. Die Korrelation könnte durch die kurze Zeitspanne bedingt sein.

Kreuzkorrelation der Brunnen

Für die Kreuzkorrelation wurden Daten bis zu Beginn der Verpressarbeiten und ab Beendigung der Verpressarbeiten hergenommen. Die Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 wurden zunächst miteinander korreliert und anschließend mit dem Arteser Grafendorf III korreliert. Von 2010 bis zu Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013) korrelieren die Brunnen im Allgemeinen gut miteinander (Abbildung 148). Die Korrelation der Brunnen 5960 und 5964 (blaue Linie) weist eine Korrelation von $r(k)=0,64$ bei 0 Tagen ($k(\text{lags})=0$) auf. Am schlechtesten korrelieren die Brunnen 5960 und 5966 (rosa Linie), denn die Korrelation liegt bei $r(k)=0,62$ bei etwa 10 ($k(\text{lags})=10$). Die Korrelation der Brunnen 5960 und 59680 (rote Linie) hat eine Korrelation von $r(k)=0,68$ bei etwa 12 Tagen ($k(\text{lags})=12$). Die Korrelation der Brunnen 5964 und 5966 (grüne Linie) liegt bei $r(k)=0,73$ und der Brunnen 5964 und 59680 (schwarze Linie) bei $r(k)=0,70$. Die Korrelation der Brunnen 5966 und 59680 (türkise Linie) ist bei $r(k)=0,75$ gegenwärtig. Die Korrelationen der Brunnen mit dem Arteser Grafendorf III liegen zwischen $r(k)=0,65$ und $r(k)=0,50$ (Abbildung 149). Die Korrelation des Artesers Grafendorf III und Brunnen 5966 ist mit $r(k)=0,65$ am höchsten. Die restlichen Korrelationen liegen unter $r(k)=0,57$.

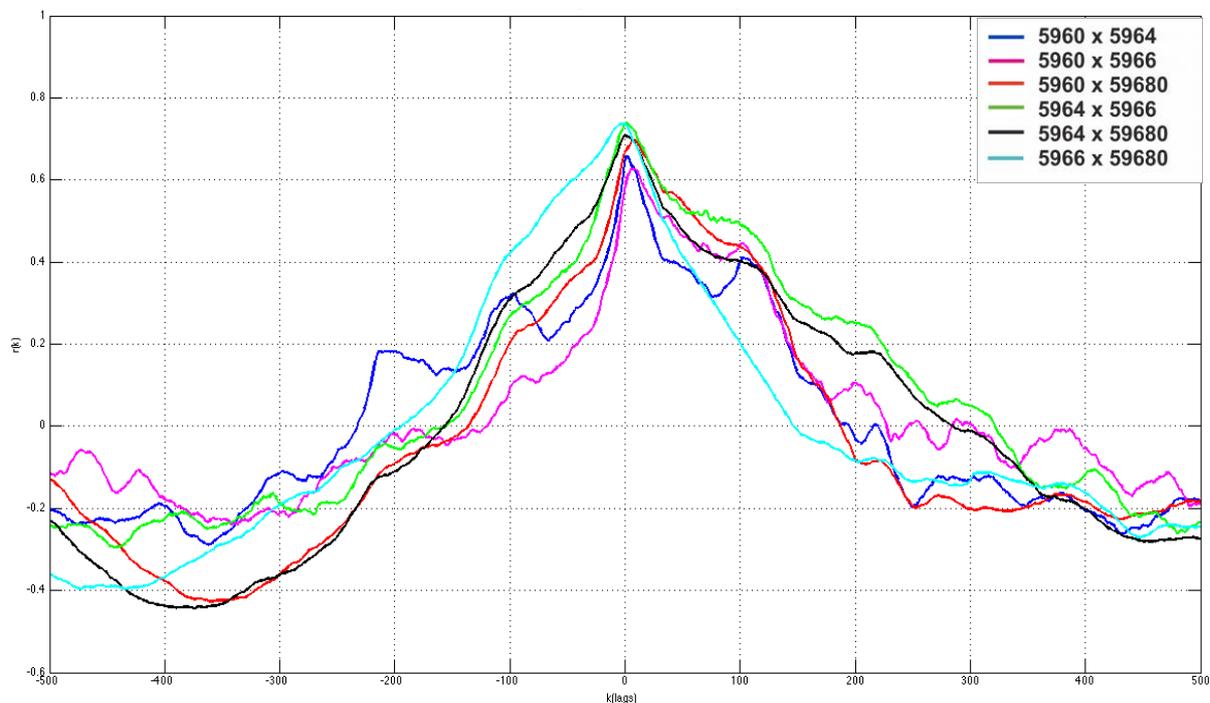


Abbildung 148: Kreuzkorrelation des Brunnens 5960 mit 5964 (blau), 5960 mit 5966 (rosa), 5960 mit 59680 (rot), 5964 mit 5966 (gelb), 5964 mit 59680 (schwarz) und 5966 mit 59680 (türkis) bis zum Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013).

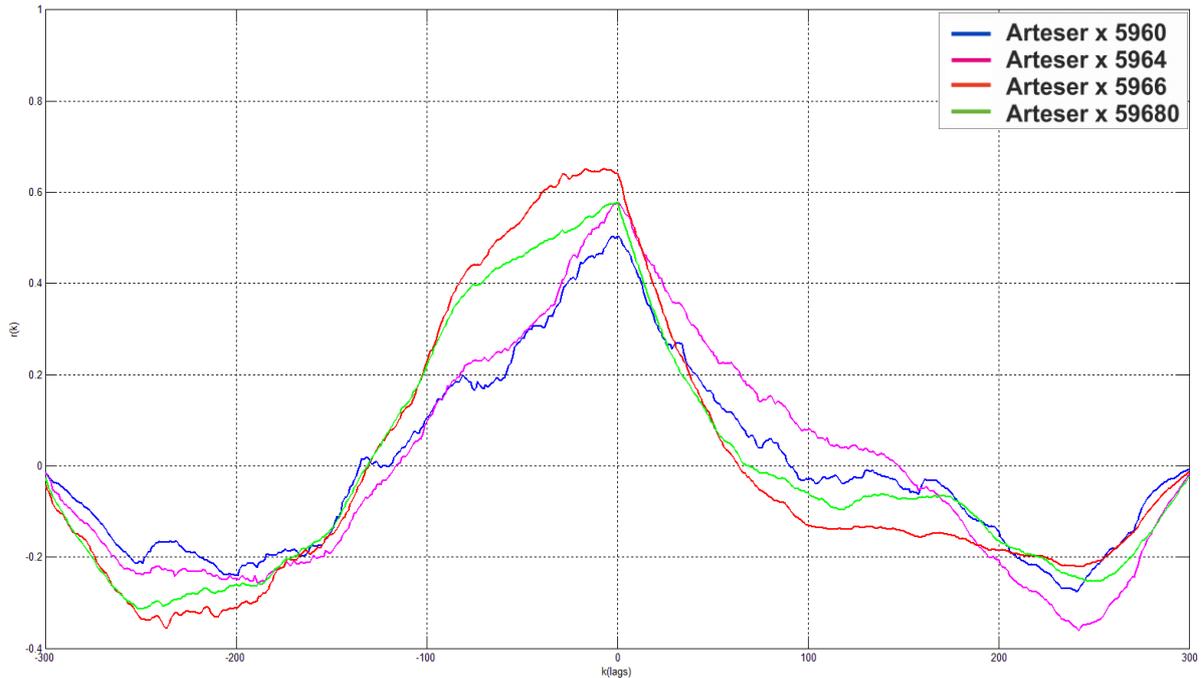


Abbildung 149: Kreuzkorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 mit dem Arteser Grafendorf III vom 01.01.2010 bis zu Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013).

Nach Beendigung der Verpressarbeiten unterscheiden sich die Korrelationen deutlich von den Korrelationen vor Beginn der Verpressarbeiten (Abbildung 150). Die Korrelationen mit dem Brunnen 5960 (blaue, rote und pinke Kurve) liegen unter $r(k)=0,38$. Die Korrelation der Brunnen 5964 und 5966 (grüne Kurve) liegt bei etwa $r(k)=0,61$ und hat einen verzögerten Peak bei etwa 2 Tagen. Auch die Korrelation der Brunnen 5964 und 59680 (schwarze Kurve) hat einen verzögerten Peak bei 4 bis 5 Tagen, wobei die Korrelation bei $r(k)=0,78$ liegt. Die Korrelation der Brunnen 5966 und 59680 (türkise Kurve) liegt bei etwa $r(k)=0,70$. Nach Beendigung der Verpressarbeiten sind die Korrelationen mit dem Arteser Grafendorf III alle unter $r(k)=0,45$ (Abbildung 151).

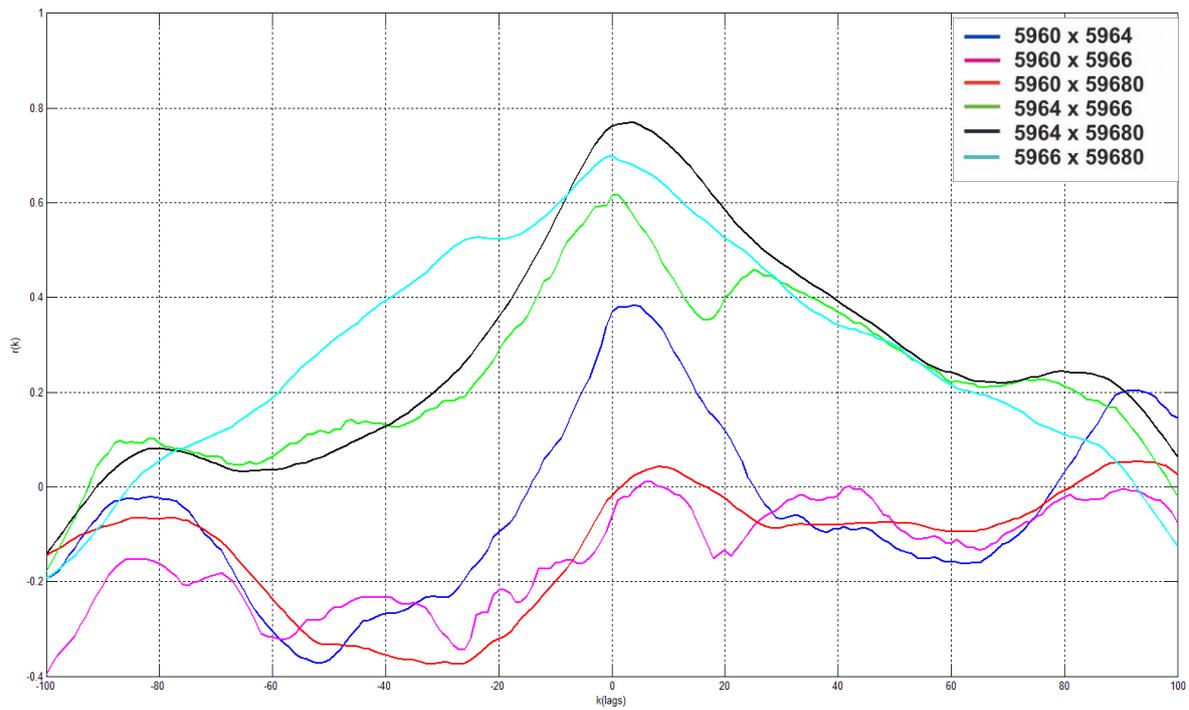


Abbildung 150: Kreuzkorrelation des Brunnens 5960 mit 5964 (blau), 5960 mit 5966 (rosa), 5960 mit 59680 (rot), 5964 mit 5966 (gelb), 5964 mit 59680 (schwarz) und 5966 mit 59680 (türkis) ab Beendigung der Verpressarbeiten (1.08.2013).

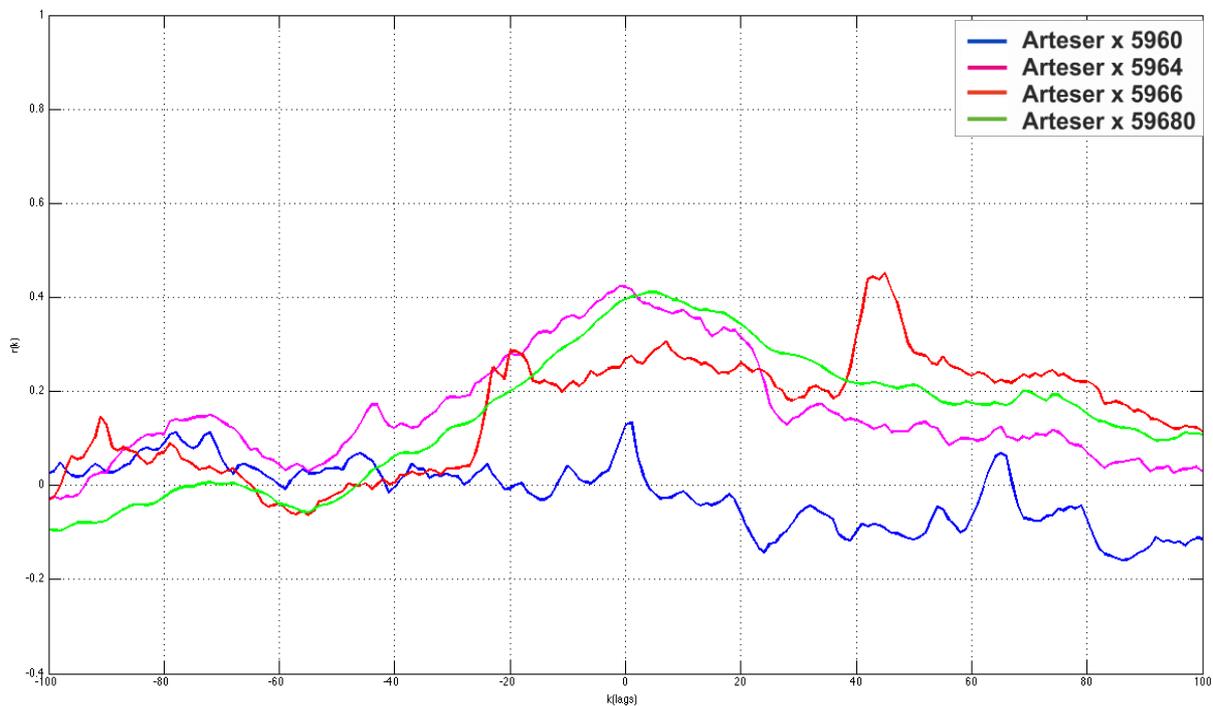


Abbildung 151: Kreuzkorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 mit dem Arteser Grafendorf III ab den Verpressarbeiten (01.04.2013).

Insgesamt ist deutlich erkennbar, dass die Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 hydraulisch vor den Verpressarbeiten miteinander verbunden sind. Die Korrelationen mit dem Brunnen 5960 sind vergleichsweise zwar nicht so gut wie die restlichen Korrelationen, aber es ist sehr interessant, dass zwischen dem Brunnen 5960 und den Brunnen 5964 und 59680 ein verzögerter Peak zu sehen ist. Von Nord nach Süd verlaufend wird der Peak immer weiter verzögert. Resultierend daraus kann angenommen werden, dass das Grundwasser von Nord nach Süd zu den Brunnen fließt und deshalb ein verspäteter Peak vorhanden ist. Das Grundwasser gelangt demnach zuerst zu dem Brunnen 5966 und dann zu Brunnen 59680. Die Korrelationen mit dem Arteser Grafendorf III sind im Vergleich zu den Korrelationen der 4 Brunnen miteinander etwas geringer. Zum einen besteht absolut keine Korrelation zwischen dem Arteser und dem Brunnen 5960, zum anderen ist die Korrelation mit 5966, trotz der Distanz zwischen den Brunnen, am höchsten. Die Korrelation des Artesers Grafendorf III und der Brunnen 5964 und 59680 ist in etwa gleich hoch. Auch wenn die Korrelationen nicht so hoch sind wie in den Korrelationen der 4 Brunnen miteinander, scheint doch eine hydraulische Verbundenheit vorhanden zu sein.

Nach den Verpressarbeiten korreliert der Brunnen 5960 überhaupt nicht mehr mit den restlichen Brunnen. Da der Brunnen 5960 als einziger einen absteigenden Trend hatte, ist dies auch nicht weiter verwunderlich. Es scheint als wäre die hydraulische Verbundenheit unterbrochen worden zu sein. Die restlichen Brunnen zeigen eine gute Korrelation miteinander. Bemerkenswert ist, dass auch in dieser Korrelation verzögerte Peaks sichtbar sind. Auch hier scheint der Verlauf des Grundwassers von Nord nach Süd der Grund zu sein, denn zuerst ist ein verzögerter Peak in der Korrelation der Brunnen 5964 und 5966 zu sehen. Anschließend tritt in der Korrelation der Brunnen 5964 und 59680 ein verzögerter Peak auf. Ebenfalls interessant ist, dass die Brunnen 5966 und 59680 so gut miteinander korrelieren, obwohl es sich bei 5966 um einen oberflächennahen Brunnen und bei 59680 um einen Tiefbrunnen handelt.

7. DISKUSSION

Um das Aquifersystem in Grafendorf und dessen Umgebung näher zu charakterisieren und zu analysieren, wie ähnlich sich die verschiedenen Aquifersysteme sind, wurden Pumpversuche ausgewertet. Die Standorte der Pumpversuche, die in dieser Arbeit ausgewertet wurden, sind zwischen 11 und 35 km Luftlinie in südlicher Richtung von Grafendorf bei Hartberg entfernt. Anhand der Ergebnisse der Pumpversuchsauswertungen ist erkennbar, dass mit zunehmender Entfernung zu Grafendorf bei Hartberg die Werte für die Transmissivität abnehmen. Für die Ortschaften in näherer Umgebung zu Grafendorf liegt der Wert für die Absenkung und den Wiederanstieg bei durchschnittlich $9,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und für die weiter entfernten Ortschaften bei durchschnittlich $7,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Somit sind die berechneten Werte für die Transmissivität der Pumpversuche, die näher an Grafendorf bei Hartberg liegen, höher als jene, die sich entfernter befinden. Dies sind allerdings nur durchschnittliche Werte und betreffen unterschiedliche Grundwasserhorizonte. Es ist aber nicht auszuschließen, dass die Horizonte dennoch, zumindest zu einem Teil, hydraulisch miteinander verbunden sind. Da das Aquifersystem sehr komplex ist, kann keine genaue Aussage darüber gemacht werden, ob die Werte allgemein für die Umgebung gelten und ob von Nord nach Süd die Transmissivität tatsächlich im Allgemeinen niedriger wird. Es ist trotzdem bemerkenswert, dass die Transmissivitäten kaum Unterschiede zeigen und stetig nach Süden hin abfallen.

Bei der Berechnung des Speicherkoeffizienten traten Schwierigkeiten auf, da in manchen Fällen unrealistische Werte ermittelt wurden. Allgemein besteht aber kein großer Unterschied zwischen den durchschnittlichen Ergebnissen der entfernteren und näheren Ortschaften. Für die Pumpversuche in näherer Umgebung betrug der Speicherkoeffizient für die Absenkung $3,53 \cdot 10^{-2}$ und für den Wiederanstieg $8,49 \cdot 10^{-2}$ (gemeinsamer Durchschnitt $6,01 \cdot 10^{-2}$). Die Pumpversuche der entfernteren Ortschaften ergaben für die Absenkung $8,29 \cdot 10^{-2}$ und für den Wiederanstieg $3,18 \cdot 10^{-2}$ (gemeinsamer Durchschnitt $5,74 \cdot 10^{-2}$). Die Werte sind nach Coldewey & Hölting, 2013 für gespannte Grundwasserleiter um eine Größenordnung zu hoch, weil sie normalerweise zwischen 10^{-3} und 10^{-5} liegen sollten. Da es sich um Lockergesteine handelt und auch oberflächennahe Grundwasserleiter bzw. auch fallweise mehrere Aquifere gepumpt werden, wäre der Wert begründbar. Allgemein stellte sich jedoch bei dieser Auswertung heraus, dass die Werte für die Speicherkoeffizienten am stärksten schwankten. Interessantweise sind die Werte sowohl bei den Ortschaften in der Nähe von Grafendorf sowie den weiter entfernten Ortschaften ähnlich hoch.

Der visuelle Ganglinienvergleich aller Brunnen hat ergeben, dass die Brunnen vor den Verpressarbeiten untereinander ähnliche Trends aufwiesen. In manchen Fällen war eine verzögerte Reaktion der Brunnen von Nord nach Süd zu erkennen. Dies deutet auf einen gemeinsamen Grundwasserneubildungsbereich hin. Da Grafendorf bei Hartberg am nördlichsten liegt, könnte im Norden die Grundwasseranreicherung stattfinden und nach Süden hin weiterfließen. Deutlich ist auch der Abfall aller Grundwasserspiegel während der Verpressarbeiten, was auf eine hydraulische Verbundenheit hindeutet. Interessanterweise reagierten die Brunnen nach den Verpressarbeiten teilweise unterschiedlich. Der Arteser Grafendorf III hat seit Beendigung der Verpressarbeiten einen deutlichen Anstieg des Grundwasserdrucks mit etwa 1,00 m. Der Brunnen 5960 hingegen sank um etwa 1,45 m seit den Verpressarbeiten. Die Brunnen 5964 und 5966 stiegen um ca. 0,50 m an. Der Brunnen 59680 hat trotz stärkerer Schwankungen einen

relativ gleichbleibenden Wasserspiegel, der um lediglich 0,04 m einen leichten Anstieg erfahren hat.

Vor den Verpressarbeiten korrelierten die Brunnen sehr gut miteinander. Der Brunnen 5960 hat einen verzögerten Peak bei den Korrelationen mit den Brunnen 5966 und 59680. Diese verzögerten Peaks unterstützen die Annahme, dass das Wasser von Nord nach Süd fließt und die Brunnen somit einen gemeinsamen Grundwasserneubildungsbereich im Norden haben. Die Kreuzkorrelationen mit dem Arteser Grafendorf III zeigen eine hydraulische Verbundenheit, allerdings sind die Korrelationen niedriger als bei den restlichen Brunnen. Nach den Verpressarbeiten verhielt sich der Brunnen 5960 anders als alle anderen Beobachtungsbrunnen, weil der Wasserspiegel stetig sank. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass nach den Verpressarbeiten die restlichen Brunnen nicht mehr mit dem Brunnen 5960 korrelierten. Allerdings bestand auch keine Korrelation mehr zwischen dem Arteser Grafendorf III und den restlichen Brunnen. Da die Messdaten des Artesers Grafendorf III nur auf einen kurzen Zeitraum (1.04.2013 bis 10.11.2014) begrenzt sind, könnte dies auch ein Grund sein, warum die Korrelationen nicht mehr gegeben sind. Die Brunnen 5964, 5966, 59680 korrelierten weiterhin sehr gut miteinander und haben sich nach den Verpressarbeiten auch sehr schnell wieder erholt.

Die Vermutung liegt nahe, dass die Verpressarbeiten nur lokal einen großen Effekt zeigen, da der Arteser Grafendorf III und der Brunnen 5960 anders und unabhängig von den restlichen Brunnen reagierten. Der Arteser Grafendorf III erschließt ebenfalls den 3. Horizont, so wie die meisten Brunnen, die in Grafendorf bei Hartberg verpresst worden sind. Dies könnte der Grund dafür sein, warum der Wasserdruck des Artesers stetig weiter steigt. Der Wasserspiegel des Brunnens 5960 sinkt hingegen konstant. Da die verpressten Brunnen keine Verrohrung besaßen, vermischten sich die tieferen Aquifere mit den oberflächennahen Aquiferen. Nach dem Verpressen wurde die Verbundenheit der Aquifere, bedingt durch die tlw. nicht vorhandenen Verrohrungen, eingedämmt. Daher fehlt dem Brunnen 5960 das Wasser aus den tieferen Horizonten und der Wasserspiegel sinkt folglich immer weiter. Interessant ist, dass der Brunnen 59680, welcher ein Tiefenbrunnen ist, so gut mit den oberflächennahen Brunnen 5964 und Brunnen 5966 korreliert. Der Grundwasserspiegel der restlichen Brunnen 5964, 5966 und 59680 hat sich nach der deutlichen Reaktion auf die Verpressarbeiten schnell wieder erholt. Daher wird vermutet, dass die Brunnen zwar gemeinsame Grundwasserneubildungszonen haben, aber auch von verschiedenen Neubildungskomponenten charakterisiert werden. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch die Pumpversuchsauswertung, da die Ergebnisse trotz unterschiedlicher Grundwasserhorizonte eine hydraulische Verbundenheit zeigen. Nichtsdestotrotz ist der Beobachtungszeitraum seit Beendigung der Verpressarbeiten relativ klein, weshalb der zukünftige Ganglinienverlauf der Brunnen weiterhin untersucht werden sollte.

8. LITERATURVERZEICHNIS

Bernhart, L., Zötl, J., Zetinigg, H., 1972. Untersuchung an artesischen Wässern in der nördlichen Oststeiermark. Band 21. Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Landesbaudirektion Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Graz, 131 pp.

Coldewey, W.G. und Hölting, B., 2013. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 470 pp.

De Ridder, N.A. und Kruseman, G.P., 2000. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, 372 pp.

Duffield, G.M., 2007. AQTESOLV for Windows Version 4.5 User's Guide. HydroSOLVE, Inc., Reston, VA, 530 pp.

Eisner, M. und Goldbrunner, J., 1994. Pumpversuch Sinabelkirchen/Egelsdorf, Hydrogeologisches Gutachten. Land Steiermark, Sinabelkirchen, 10 pp.

Erhart-Schippek, W. und Meyer, J., 1998. Wasserwirtschaftliche Grundlagenerhebungen artesischer Brunnen im Burgenland und in der Steiermark. Sonderband 2. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wasserwirtschaftskataster Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abt. 9, Wasser- und Abfallwirtschaft Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 3a, Wasserwirtschaft, Graz, 60 pp.

Erhart-Schippek, W., 1997. Untersuchung artesischer Wasservorkommen im Bereich der Südoststeiermark (Wasserwirtschaftliche Grundlagenerhebung). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wasserwirtschaftskataster, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 3a, Graz, 189 pp.

Flügel, H. und Heritsch, H., 1986. Sammlung Geologischer Führer. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 196 pp.

Genske, D. D., 2006. Ingenieurgeologie Grundlagen und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 613 pp.

Giuliani, G., 2013. Eine quantitative Trendanalyse. Land Steiermark, Graz, 35 pp.

Gross, M., Fritz, I., Piller, W.E., Soliman, A., Harzhauser, M., Hubmann, B., Moser, B., Scholger, R., Suttner T.J., Bojar H.P., 2007. The Neogene of Styrian Basin – Guide to Excursions. Joannea Geologie und Paläontologie, Graz, 117-193

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Geoteam, TU Graz, Meyer, J.W., Niederbacher P., Erhart-Schippek W., 2005. Hydrogeologische Grundlagen für eine nachhaltige Nutzung der Tiefengrundwässer im Bereich des Oststeirischen und Pannonischen Beckens („NANUTIWA“). Amt der Steiermärkischen und Burgenländischen Landesregierung, Graz, 561 pp.

Kaiser, C., 1989. Bohrung Hartmannsdorf – Pumpversuch, Gutachten. Land Steiermark, Graz, 4 pp.

- Kaiser, C., 1996. Versuchsbohrung Grosshart – Auswertung des Pumpversuches, Gutachten. Land Steiermark, Judendorf-Straßengel, 10 pp.
- Kaiser, C., 1996. Versuchsbohrung Unterrohr – Auswertung des Pumpversuches, Gutachten. Land Steiermark, Judendorf-Straßengel, 9 pp.
- Kaiser, Ch., Versuchsbohrung Unterrohr - Auswertung des Pumpversuches, Amt der Steiermärkischen Landesregierung , Graz 1996, pp. 8
- Kolb, A. und Goldbrunner, J., 1995. Brunnen Urscha II – Pumpversuchsauswertung, Hydrogeologisches Gutachten. Land Steiermark, Graz, 16 pp.
- Krešić, N., 2007. Hydrogeology and Groundwater Modeling. CRC Press, Boca Raton, 807 pp.
- Kreuzwiser, R., de Loe, R., Imgrund, K., Conboy, M. J., Simpson, H., Plummer, R., 2010. Understanding stewardship behaviour: Factors facilitating and constraining private water well stewardship. *Journal of Environmental Management*, 92, 1104-1114
- Kriegl, Ch., Goldbrunner, J., Heiss, H.P., 1995. Hydrogeologische und hydraulische Auswertung der Pumpversuche an den Sonden Kaindorf Kopfung I und II, Kaindorf West und Gnies III. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, 19 pp.
- Langguth, H.-R. und Voigt, R., 2004. Hydrogeologische Methoden. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1006 pp.
- Larocque, M., Banton, O., Mangin, A., Razack, M., 1998. Contribution of correlation and spectral analyses to regional study of a karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology*, 205, 217-231
- Mayaud, C., Wagner, T., Benischke, R., Birk, S., 2014. Single event time series analysis in a binary karst catchment evaluated using a groundwater model (Lurbach system, Austria). *Journal of Hydrology*, 511, 628-639
- Miall, A.D., 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: A summary. In A.D. Miall (Ed.), *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, 597-604
- Stober, I., 1986. Strömungsverhalten in Festgesteinsaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen. *Geologische Jahrbuchreihe C*, Heft 42. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, 204 pp.
- Weyerhäuser, K., 2005. Faltung und Korrelation kontinuierlicher Signale. Seminararbeit an der Universität Koblenz, 12 pp.
- Zojer, H. und Zetinigg, H., 1987. Beiträge zur Kenntnis der artesischen Wässer im Steirischen Becken. Band 68. Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Landesbaudirektion Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Graz, 190 pp.

Zojer, H. und Domberger, G., 2005. Hydrogeologische Grundlagen für eine nachhaltige Nutzung der Tiefengrundwässer im Bereich des Oststeirischen und Pannonischen Beckens, Graz, (unveröffentlicht), 558 pp.

<http://www.ecy.wa.gov/programs/wr/wells/abandon-wells.html>, 15.03.2016

<http://www.ngwa.org/Pages/default.aspx>, 15.03.2016

<https://www.peelregion.ca/pw/water/water-trtmt/wellhead-abandon.htm>, 15.03.2016

<http://www.wellaware.ca/pages/Unusedwells.php>, 15.03.2016

http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328084622/http://cdn.environment-agency.gov.uk/LIT_6478_8cbe6f.pdf, 15.03.2016

9. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Mächtigkeiten und Tiefen der artesischen Horizonte der Bohrungen in Grafendorf 1 – 4, Anordnung von Osten nach Westen, die kursiven Horizonte wurden mit einer Filterverrohrung erschlossen (Zetinigg et al., 1972).....	19
Tabelle 2: Mächtigkeiten und Tiefen der artesischen Horizonte der Bohrungen in Seibersdorf 1 und 2, die kursiven Horizonte wurden mit einer Filterverrohrung erschlossen (Zetinigg et al., 1972).....	19
Tabelle 3: Die Tiefe des Filterrohrs und die Seehöhe der Brunnen sowie der wasserführenden Schicht und die Endtiefen der Bohrungen Grafendorf 1 bis Grafendorf 4, Seibersdorf 1 und Seibersdorf 2.	20
Tabelle 4: Endtiefe und Tiefe des Filterrohrs (somit der wasserführenden Schicht) der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680.....	23
Tabelle 5: Bohrungen an denen Pumpversuche durchgeführt wurden, deren Tiefe der Filterrohrstrecke, Seehöhe, Seehöhe der wasserführenden Schicht sowie die Endtiefe. 26	
Tabelle 6: Aufzählung der Pumpversuche mit dem Durchführungsjahr und der Anzahl der Absenkungen sowie der Wiederanstiege.....	45
Tabelle 7: Parameter und Werte des Pumpversuchs Grosshart, die für die Auswertung angewendet wurden (Kaiser, 1996).	46
Tabelle 8: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Grosshart.....	47
Tabelle 9: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Grosshart.....	47
Tabelle 10: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I, 1983	48
Tabelle 11: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/1.....	50
Tabelle 12: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/1.....	50
Tabelle 13: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/2.....	52
Tabelle 14: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/2.....	52
Tabelle 15: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung I, 1985	53
Tabelle 16: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/1.....	54
Tabelle 17: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1985/1.....	54
Tabelle 18: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/2.....	56
Tabelle 19: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1985/2.....	56
Tabelle 20: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II, 1983.....	57
Tabelle 21: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/1.....	59
Tabelle 22: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/1.....	59
Tabelle 23: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/2.....	61
Tabelle 24: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/2.....	61
Tabelle 25: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung II, 1985.....	62
Tabelle 26: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/1.....	63

Tabelle 27: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/1.....	63
Tabelle 28: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/2.....	65
Tabelle 29: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/2.....	66
Tabelle 30: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III, 1985	67
Tabelle 31: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/1.....	68
Tabelle 32: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/1.....	68
Tabelle 33: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/2.....	70
Tabelle 34: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/2.....	70
Tabelle 35: Parameter und Werte des Pumpversuchs Kaindorf Kopfung III, 1986	71
Tabelle 36: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/1.....	73
Tabelle 37: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/1.....	73
Tabelle 38: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/2.....	74
Tabelle 39: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/2.....	75
Tabelle 40: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Gneis III.....	76
Tabelle 41: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Gneis III	77
Tabelle 42: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Gneis III.....	77
Tabelle 43: Parameter und Werte des Pumpversuchs Markt Hartmannsdorf.....	78
Tabelle 44: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 1. Phase	79
Tabelle 45: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 1. Phase	79
Tabelle 46: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase	82
Tabelle 47: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase	82
Tabelle 48: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase	84
Tabelle 49: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase	84
Tabelle 50: Parameter und Werte des Pumpversuchs Unterrohr.....	86
Tabelle 51: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Unterrohr, 1. Phase.....	87
Tabelle 52: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Unterrohr, 1. Phase	87
Tabelle 53: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Unterrohr, 2. Phase.....	88
Tabelle 54: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Unterrohr, 2. Phase	89
Tabelle 55: Parameter und Werte des Pumpversuchs Urscha II	90
Tabelle 56: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Urscha II, 1. Phase	91

Tabelle 57: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Urscha II, 1. Phase	91
Tabelle 58: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Urscha II, 2. Phase	93
Tabelle 59: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Urscha II, 2. Phase	93
Tabelle 60: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Urscha II, 3. Phase	94
Tabelle 61: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Urscha II, 3. Phase	95
Tabelle 62: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1	96
Tabelle 63: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 1	97
Tabelle 64: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 1	97
Tabelle 65: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3	98
Tabelle 66: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 3	99
Tabelle 67: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 3	99
Tabelle 68: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2	100
Tabelle 69: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 2	101
Tabelle 70: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 2	101
Tabelle 71: Parameter und Werte des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4	102
Tabelle 72: Ergebnisse der Auswertungen der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 4	104
Tabelle 73: Ergebnisse der Auswertungen des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Br. 4	104
Tabelle 74: Die Prozentsätze der Methoden für jeweils die Absenkung und den Wiederanstieg, die für das Anpassen der Methode an den Kurvenverlauf des Pumpversuchs, ermittelt wurden.	106
Tabelle 75: Die Prozentsätze der Methoden für jeweils die Absenkung und den Wiederanstieg, die für die Ergebnisse der Parameter ermittelt wurden.	107

10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Übersicht des Projektgebietes. Position des Steirischen Beckens im Raum Alpen, Karpaten Pannonisches Becken (Zojer & Domberger, 2005).	11
Abbildung 2: Übersicht der präneogenen Umrahmung und des Untergrundes. Von West nach Ost: Weststeirisches Becken (WSB), Mittelsteirische Schwelle (Sausalschwelle, MSS), Gnaser Becken (GNB), Fehringner Becken (FEB), Fürstenfelder Becken (FÜB), Südburgenländische Schwelle (SBS) Auersbacher Schwelle (AUS), Söchauer Schwelle (SÖS), Senke von Weichselbaum (SWE), Westpannonisches Becken (Raabgraben, WPB) (Nanutiwa, 2005).	12
Abbildung 3: Geologische Übersichtskarte des Steirischen Beckens. Grafendorf ist mit einem roten Kreis markiert (Flügel & Heritsch, 1968).	13
Abbildung 4: Geologischer Aufbau im Raum Grafendorf (Zötl et al., 1972).	17
Abbildung 5: Übersichtskarte aller Brunnen, die in dieser Arbeit behandelt werden. (gis.steiermark.at, 2016)	18
Abbildung 6: Lage der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 und Arteser Grafendorf III. Das „X“ ist ein Brunnen, dessen Messdaten nicht zur Verfügung stehen (gis.steiermark.at, 2015).	22
Abbildung 7: Brunnenkopf des Brunnens „Arteser Grafendorf III“ (hellblauer Kreis). Die Steigleitung ist in grün markiert. Das Manometer sowie die Drucksonde sind mit orange markiert.	25
Abbildung 8: Absenkungstrichter (cone of depression) in einem Pumpbrunnen mit 2 Beobachtungsbrunnen (piezometer) und der darin messbaren Absenkung (s) in einem gespannten Grundwasserleiter. Der Grundwasserspiegel vor dem Pumpen (piezometric level prior to pumping) und nach dem Pumpen (piezometric level during pumping) sind in der Abbildung dargestellt. Q ist die Schüttung, Aquiclude ist ein Grundwassernichtleiter. (Kruseman & de Ridder, 2000).	29
Abbildung 9: Beispiele für typische Kurvenverläufe der Zeit-Absenkungsdarstellung von unverfestigten Aquiferen in log-log und semi-log Plots. A und A': Gespannter Aquifer, B und B': Ungespannter Aquifer mit verzögerter Entleerung, C und C': Halbgespannter Aquifer (Kruseman & de Ridder, 2000).	31
Abbildung 10: Beispiele für typische Kurvenverläufe der Zeit-Absenkungsdarstellung von verfestigten Aquiferen in log-log und semi-log Plots. A und A': Gespannter Aquifer mit Doppelporosität, B und B': eine einzelne vertikale Kluft, C und C': durchlässiger „dyke“ in einem ansonsten schlecht durchlässigen Aquifer (Kruseman & de Ridder, 2000).	31
Abbildung 11: Die Auswirkung der Brunnenspeicherung des abgepumpten Brunnens auf die Zeit-Absenkungskurve. Die gestrichelten Kurven sind die Bereiche von A und A' der Abbildung 9 (Kruseman & de Ridder, 2000).	32
Abbildung 12: Die Auswirkung einer Grundwasseranreicherung (Bereich A und A') und einer undurchlässigen Grenze (Bereich B und B') auf die Zeit-Absenkungskurve in einem gespannten, unverfestigten Aquifer. Die gestrichelten Kurven sind die Bereiche von A und A' der Abbildung 9 (Kruseman & de Ridder, 2000).	33
Abbildung 13: Brunnen- und aquiferspezifische Einflüsse auf den Absenkungs- bzw. Wiederanstiegsvorgang in Brunnen (Stober, 1986).	34
Abbildung 14: Absenkung und Wiederanstieg während eines Pumpversuchs. s = Absenkung („drawdown“) ansteigend mit der Zeit, s' = Restabsenkung („residual drawdown“) absenkend mit der Zeit, t = Zeit ab Pumpbeginn, t' = Zeit ab dem Wiederanstieg. „Pumping period“ ist die Pumpphase und die „recovery period“ ist die Wiederanstiegsphase nach der Pumpphase (Kruseman & de Ridder, 2000).	38

Abbildung 15: Ein gespannter Aquifer mit einem vollkommenen Brunnen mit großem Durchmesser. Q = Schüttung, s_w = Absenkung im Brunnen (Abstich), s = Absenkung, r_c = Radius der Bohrung, r = Radius des Brunnens, D = Aquifermächtigkeit. „Original piezometric surface“ stellt den ursprünglichen Grundwasserspiegel dar. „Aquifer“ stellt den Grundwasserleiter dar, „Aquicludes“ sind die Grundwassernichtleiter (Kurseman & de Ridder, 2000).....	40
Abbildung 16: Bestimmung der hydraulischen Parameter mittels Murdoch (1994). Q = Schüttung, h_0 = ursprünglicher Grundwasserspiegel, h = Absenkung, r = Abstand zum Beobachtungsbrunnen, b = Mächtigkeit des Aquifers („aquifer“), „aquiclude“ ist der Grundwassernichtleiter. L_t steht für „Length of the fracture“, also Länge der Kluft (Duffield, 2007).....	41
Abbildung 17: Bestimmung der hydraulischen Parameter mittels Barker (1988). Q = Schüttung, h_0 = ursprünglicher Grundwasserspiegel, h = Absenkung, r = Abstand zum Beobachtungsbrunnen, b = Mächtigkeit des Aquifers („aquifer“), „aquiclude“ ist der Grundwassernichtleiter, $2r_c$ = Bohrradius, $2r_w$ = Brunnenradius (Duffield, 2007).....	42
Abbildung 18: Bestimmung der hydraulischen Parameter mittels Dougherty&Babu (1984). Q = Schüttung, h_0 = ursprünglicher Grundwasserspiegel, h = Absenkung, r = Abstand zum Beobachtungsbrunnen, b = Mächtigkeit des Aquifers („aquifer“), „aquiclude“ ist der Grundwassernichtleiter, $2r_c$ = Bohrradius, $2r_w$ = Brunnenradius (Duffield, 2007).....	42
Abbildung 19: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Grosshart.....	46
Abbildung 20: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Grosshart.....	46
Abbildung 21: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Grosshart ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	47
Abbildung 22: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Grosshart ausgewertet nach Barker	47
Abbildung 23: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/1.....	49
Abbildung 24: Darstellung der Schüttung während des PVs Kaindorf Kopfung I, 1983/1	49
Abbildung 25: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/1	49
Abbildung 26: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/1 ausgewertet nach Dougherty&Babu	50
Abbildung 27: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/1 ausgewertet nach Barker	50
Abbildung 28: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1983/2.....	51
Abbildung 29: Darstellung der Schüttung während des PVs Kaindorf Kopfung I, 1983/2	51
Abbildung 30: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1983/2	51
Abbildung 31: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/2 ausgewertet nach Theis	52
Abbildung 32: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1983/2 ausgewertet nach Murdoch.....	52
Abbildung 33: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/1.....	53
Abbildung 34: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung, 1985/1.....	53

Abbildung 35: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/1 ausgewertet nach Murdoch.....	54
Abbildung 36: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/1 ausgewertet nach Barker	54
Abbildung 37: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung I, 1985/2.....	55
Abbildung 38: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs in Kaindorf Kopfung I, 1985/2	55
Abbildung 39: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung I, 1985/2	56
Abbildung 40: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/2 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	57
Abbildung 41: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung I, 1985/2 ausgewertet nach Barker	57
Abbildung 42: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/1.....	58
Abbildung 43: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung II, 1983/1.....	58
Abbildung 44: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/1.....	58
Abbildung 45: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/1 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	59
Abbildung 46: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/1 ausgewertet nach Theis.....	59
Abbildung 47: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1983/2.....	60
Abbildung 48: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1983/2.....	60
Abbildung 49: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/2 ausgewertet nach Theis.....	61
Abbildung 50: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung II, 1983/2 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	61
Abbildung 51: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/1.....	62
Abbildung 52: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung II, 1985/1.....	62
Abbildung 53: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/1.....	63
Abbildung 54: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/1 ausgewertet nach Theis.....	64
Abbildung 55: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/1 ausgewertet nach Barker.....	64
Abbildung 56: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung II, 1985/2.....	65
Abbildung 57: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung II, 1985/2.....	65
Abbildung 58: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung II, 1985/2.....	65
Abbildung 59: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/2 ausgewertet nach Barker.....	66

Abbildung 60: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung II, 1985/2 ausgewertet nach Barker.....	66
Abbildung 61: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/1.....	67
Abbildung 62: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung III, 1985/1.....	67
Abbildung 63: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/1.....	68
Abbildung 64: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/1 ausgewertet nach Murdoch.....	69
Abbildung 65: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/1 ausgewertet nach Barker.....	69
Abbildung 66: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1985/2.....	70
Abbildung 67: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1985/2.....	70
Abbildung 68: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/2 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper.....	71
Abbildung 69: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1985/2 ausgewertet nach Barker.....	71
Abbildung 70: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/1 – roter Kreis: Schüttungserhöhung; blauer Kreis: Stromausfall; grüner Kreis: Ende des Stromausfalls.....	72
Abbildung 71: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Kaindorf Kopfung III, 1986/1.....	72
Abbildung 72: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/1.....	72
Abbildung 73: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/1 ausgewertet nach Cooper&Jacob.....	73
Abbildung 74: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/1 ausgewertet nach Barker.....	73
Abbildung 75: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Kaindorf Kopfung III, 1986/2.....	74
Abbildung 76: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Kaindorf Kopfung III, 1986/2.....	74
Abbildung 77: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/2 ausgewertet nach Barker.....	75
Abbildung 78: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Kaindorf Kopfung III, 1986/2 ausgewertet nach Barker.....	75
Abbildung 79: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Gnies III.....	76
Abbildung 80: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Sinabelkirchen/Gnies III.....	76
Abbildung 81: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Gnies III.....	77
Abbildung 82: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Sinabelkirchen/Gnies III ausgewertet nach Dougherty&Babu.....	78
Abbildung 83: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Sinabelkirchen/Gnies III ausgewertet nach Theis.....	78
Abbildung 84: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe.....	79

Abbildung 85: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe.....	79
Abbildung 86: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe ausgewertet nach Dougherty&Babu.....	80
Abbildung 87: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Markt Hartmannsdorf, 1. Stufe ausgewertet nach Papadopulos&Cooper.....	80
Abbildung 88: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase	81
Abbildung 89: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase	81
Abbildung 90: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 2. Phase	81
Abbildung 91: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Markt Hartmannsdorf, 2. Stufe ausgewertet nach Murdoch	82
Abbildung 92: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Markt Hartmannsdorf, 2. Stufe ausgewertet nach Barker.....	82
Abbildung 93: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase	83
Abbildung 94: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase	83
Abbildung 95: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Markt Hartmannsdorf, 3. Phase	83
Abbildung 96: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von PV Markt Hartmannsdorf, 3. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper.....	85
Abbildung 97: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von PV Markt Hartmannsdorf, 3. Phase ausgewertet nach Dougherty&Babu.....	85
Abbildung 98: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 1. Phase	86
Abbildung 99: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 1. Phase	86
Abbildung 100: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 1. Phase ausgewertet nach Barker	87
Abbildung 101: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 1. Stufe ausgewertet nach Barker.....	87
Abbildung 102: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 2.Phase.....	88
Abbildung 103: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 2.Phase.....	88
Abbildung 104: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Unterrohr, 2. Phase ausgewertet nach Barker	89
Abbildung 105: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Unterrohr, 2. Phase ausgewertet nach Theis	89
Abbildung 106: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 1. Phase	90
Abbildung 107: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 1. Phase	90
Abbildung 108: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 1. Phase ausgewertet nach Barker	91
Abbildung 109: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 1. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper.....	91

Abbildung 110: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 2. Phase	92
Abbildung 111: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 2. Phase	92
Abbildung 112: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 2. Phase ausgewertet nach Dougherty&Babu	93
Abbildung 113: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 2. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	93
Abbildung 114: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 3. Phase	94
Abbildung 115: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 3. Phase	94
Abbildung 116: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Urscha II, 3. Phase ausgewertet nach Barker	95
Abbildung 117: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Urscha II, 3. Phase ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	95
Abbildung 118: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1	96
Abbildung 119: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1	96
Abbildung 120: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1 ausgewertet nach Dougherty&Babu	97
Abbildung 121: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 1 ausgewertet nach Barker	97
Abbildung 122: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3	98
Abbildung 123: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3	98
Abbildung 124: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3	99
Abbildung 125: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	100
Abbildung 126: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 3 ausgewertet nach Dougherty&Babu	100
Abbildung 127: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2	101
Abbildung 128: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2	101
Abbildung 129: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2 ausgewertet nach Barker	102
Abbildung 130: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 2 ausgewertet nach Theis	102
Abbildung 131: Doppellogarithmische Darstellung der Absenkung Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4	103
Abbildung 132: Darstellung der Schüttung während des Pumpversuchs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4	103
Abbildung 133: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4	103
Abbildung 134: Halblogarithmische Darstellung der Absenkung von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4 ausgewertet nach Papadopulos&Cooper	104

Abbildung 135: Halblogarithmische Darstellung des Wiederanstiegs von Sinabelkirchen/Egelsdorf, Brunnen 4 ausgewertet nach Dougherty&Babu	104
Abbildung 136: Messdaten des Brunnens 5960 vom 01.01.2004 bis 26.01.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der tägliche Werte in m ü. A. dar.	108
Abbildung 137: Messdaten des Brunnens 5964 vom 01.01.2004 bis 26.01.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der tägliche Werte in m ü. A. dar. Die Pfeile markieren Absenkungen oder Steigungen im Wasserspiegel, die unabhängig oder abhängig von Niederschlagsereignissen auftreten.	109
Abbildung 138: Messdaten des Brunnens 5966 vom 02.01.2005 bis 14.04.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der tägliche Werte in m ü. A. dar. Die Pfeile markieren Absenkungen oder Steigungen im Wasserspiegel, die unabhängig oder abhängig von Niederschlagsereignissen auftreten.	110
Abbildung 139: Messdaten des Brunnens 59680 vom 30.09.2003 bis 17.05.2015 und der monatliche Mittelwert des Niederschlags in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013. Die Ganglinie in grün stellt die täglichen Werte dar und die orangene Ganglinie stellt das gleitende Mittel über ein Monat der tägliche Werte in m ü. A. dar. Die Pfeile markieren Absenkungen oder Steigungen im Wasserspiegel, die unabhängig oder abhängig von Niederschlagsereignissen auftreten.	111
Abbildung 140: Dargestellt sind Wasserspiegel der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 normiert zwischen 0 und 1 und Niederschlag in mm/Tag bis Ende des Jahres 2012. Im orangenen Bereich ist der Zeitraum während der Verpressarbeiten (01.04.2013 bis 01.08.2013) dargestellt. Die Abschnitte, welche mit den Zahlen 1 bis 47 gekennzeichnet sind, kennzeichnen Trendverläufe in diesem Zeitraum.....	112
Abbildung 141: Absolutwerte des Artesers Grafendorf III und der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680. Die Niederschläge sind in mm/Tag bis Ende des Jahres 2013 dargestellt. Zeitlich interessante Abschnitte sind mit grünen Balken unterteilt und nummeriert. Im orangenen Bereich ist der Zeitraum während der Verpressarbeiten (01.04.2013 bis 01.08.2013) dargestellt. Im roten Bereich ist der Zeitraum nach den Verpressarbeiten dargestellt (01.08.2013 bis 16.06.2015).	114
Abbildung 142: Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 auf einer gemeinsamen Achse dargestellt, um die Ganglinien der Wasserspiegel vergleichen zu können. Die orangenen Pfeile stellen den allgemeinen Trend der Ganglinien dar und sind je nach Abschnitt von 1 bis 7 nummeriert. Die roten Pfeile stellen einen allgemeinen Trend dar, der sich nur auf die Brunnen 5964, 5966 und 59680 bezieht.....	115
Abbildung 143: Grundwasserspiegellhöhen der Brunnen 5960, 5964, 5966, 59680 und Arteser Grafendorf III. Das orange Feld stellt die Periode der Verpressarbeiten dar (01.04.2013 bis 01.08.2013).....	116
Abbildung 144: Autokorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5968 und 59680 vom 01.01.2010 bis 01.04.2013	117
Abbildung 145: Autokorrelation des Artesers Grafendorf III vom 01.06.2012 bis 1.4.2013.....	117
Abbildung 146: Autokorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 ab Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013).....	118
Abbildung 147: Autokorrelation Arteser Grafendorf III ab Beendigung der Verpressarbeiten (01.08.2013 bis 10.11.2014).	118

Abbildung 148: Kreuzkorrelation des Brunnens 5960 mit 5964 (blau), 5960 mit 5966 (rosa), 5960 mit 59680 (rot), 5964 mit 5966 (gelb), 5964 mit 59680 (schwarz) und 5966 mit 59680 (türkis) bis zum Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013).....	119
Abbildung 149: Kreuzkorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 mit dem Arteser Grafendorf III vom 01.01.2010 bis zu Beginn der Verpressarbeiten (01.04.2013).	120
Abbildung 150: Kreuzkorrelation des Brunnens 5960 mit 5964 (blau), 5960 mit 5966 (rosa), 5960 mit 59680 (rot), 5964 mit 5966 (gelb), 5964 mit 59680 (schwarz) und 5966 mit 59680 (türkis) ab Beendigung der Verpressarbeiten (1.08.2013).....	121
Abbildung 151: Kreuzkorrelation der Brunnen 5960, 5964, 5966 und 59680 mit dem Arteser Grafendorf III ab den Verpressarbeiten (01.04.2013).	121

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ANHANG

Abbildung_Anhang 1: Bohrungen Grafendorf 1 bis Grafendorf 4 sowie Seibersdorf 1 und Seibersdorf 2	139
Abbildung_Anhang 2: Bohrprofile der Bohrungen 1 und 2 in Grafendorf, 1. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)	140
Abbildung_Anhang 3: Bohrprofile der Bohrungen 1 und 2 in Grafendorf, 2. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)	141
Abbildung_Anhang 4: Bohrprofile der Bohrungen 3 und 4 in Grafendorf, 1. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)	142
Abbildung_Anhang 5: Bohrprofile der Bohrungen 3 und 4 in Grafendorf, 2. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)	143
Abbildung_Anhang 6: Bohrprofil der Bohrung 2 in Seibersdorf, 1. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)	144
Abbildung_Anhang 7: Bohrprofil der Bohrung 2 in Seibersdorf, 2. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)	145
Abbildung_Anhang 8: Bohrprofil der Bohrung 1 in Seibersdorf (Zetinigg et al., 1972) .	146
Abbildung_Anhang 9: Werte für die Theis Brunnenfunktion $W(u)$ für gespannte Aquifere (Kruseman & de Ridder, 2000)	147
Abbildung_Anhang 10: Bohrprofil des Artesers Grafendorf III, Teil 1 von 3 (Bohrfirma Etschel&Meyer – 8970 Schladming, 2006).	148
Abbildung_Anhang 11: Bohrprofil eines Brunnens, der sich in der Nähe des Brunnen 5960 befindet (300 m Luftlinie entfernt) (Bohrfirma Josef Fuchs – 8230 Greinbach, 2012).	151
Abbildung_Anhang 12: Bohrprofil des Brunnen 5966 (Bohrfirma Josef Fuchs – 8230 Greinbach, 2012).	152
Abbildung_Anhang 13: Bohrprofil des Brunnen 59680, Teil 1 von 3(Bohrfirma Etschel&Meyer – 8970 Schladming, 1996).	153

11. ANHANG

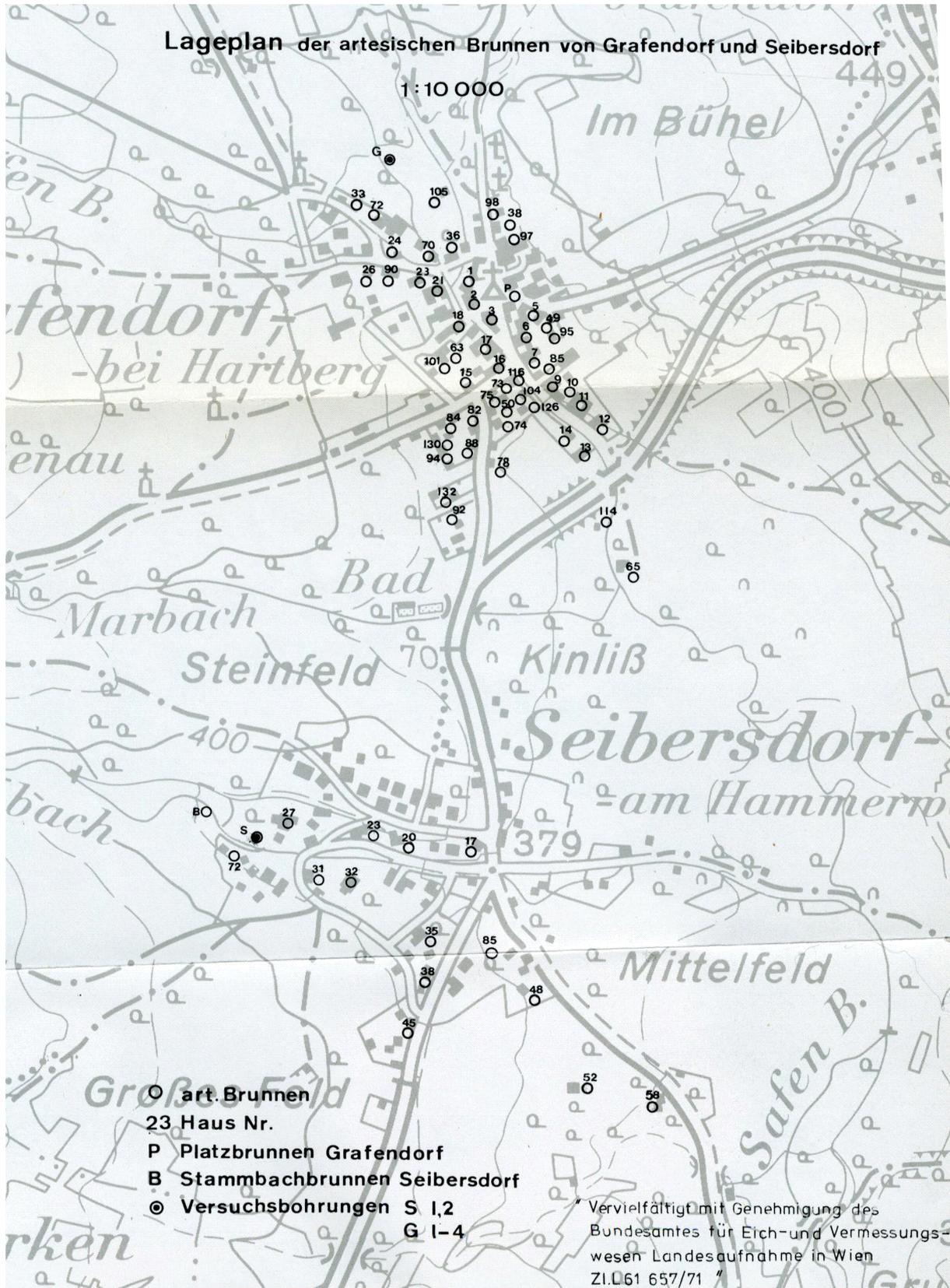


Abbildung Anhang 1: Bohrungen Grafendorf 1 bis Grafendorf 4 sowie Seibersdorf 1 und Seibersdorf 2

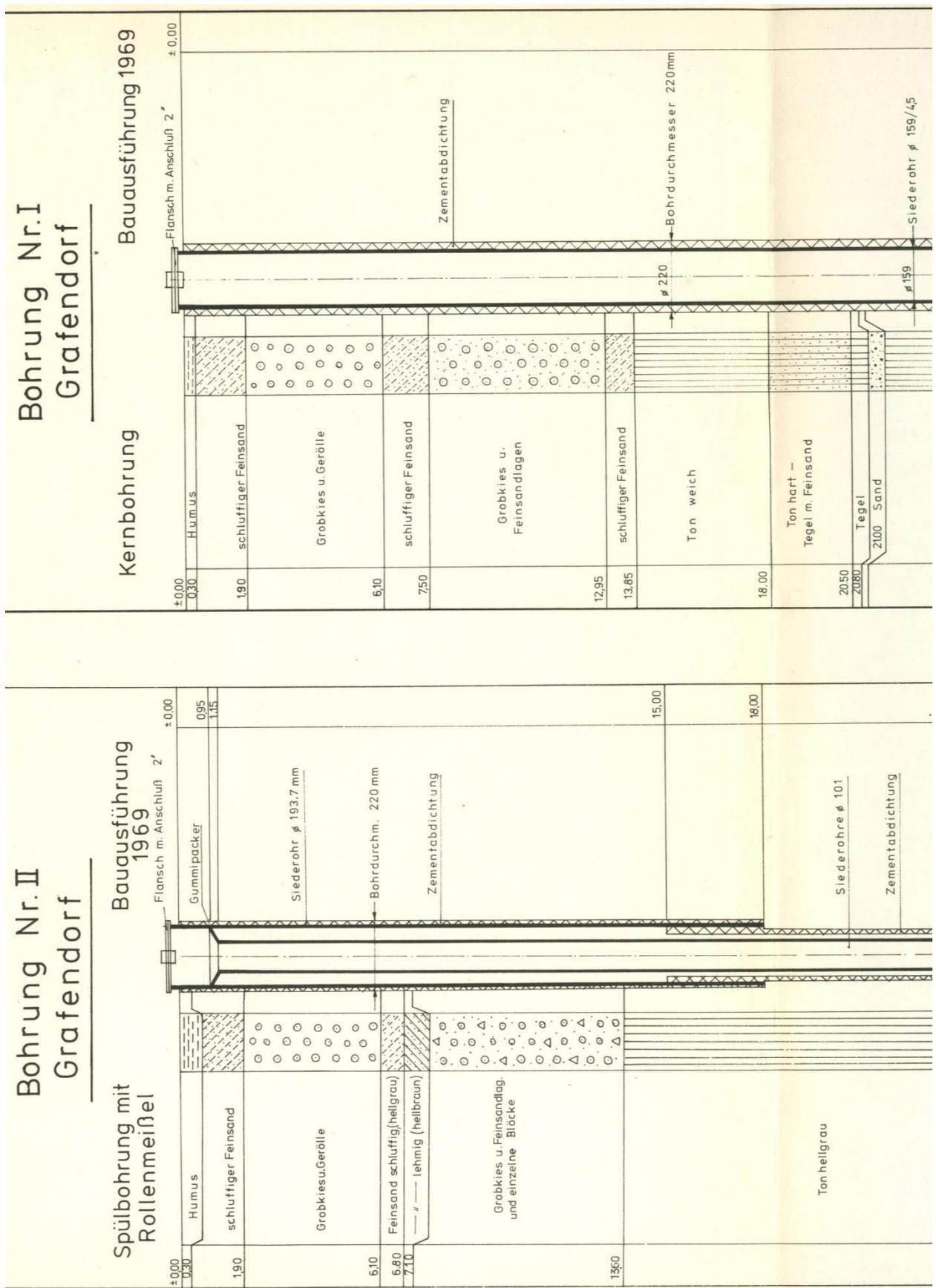


Abbildung Anhang 2: Bohrprofile der Bohrungen 1 und 2 in Grafendorf, 1. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)

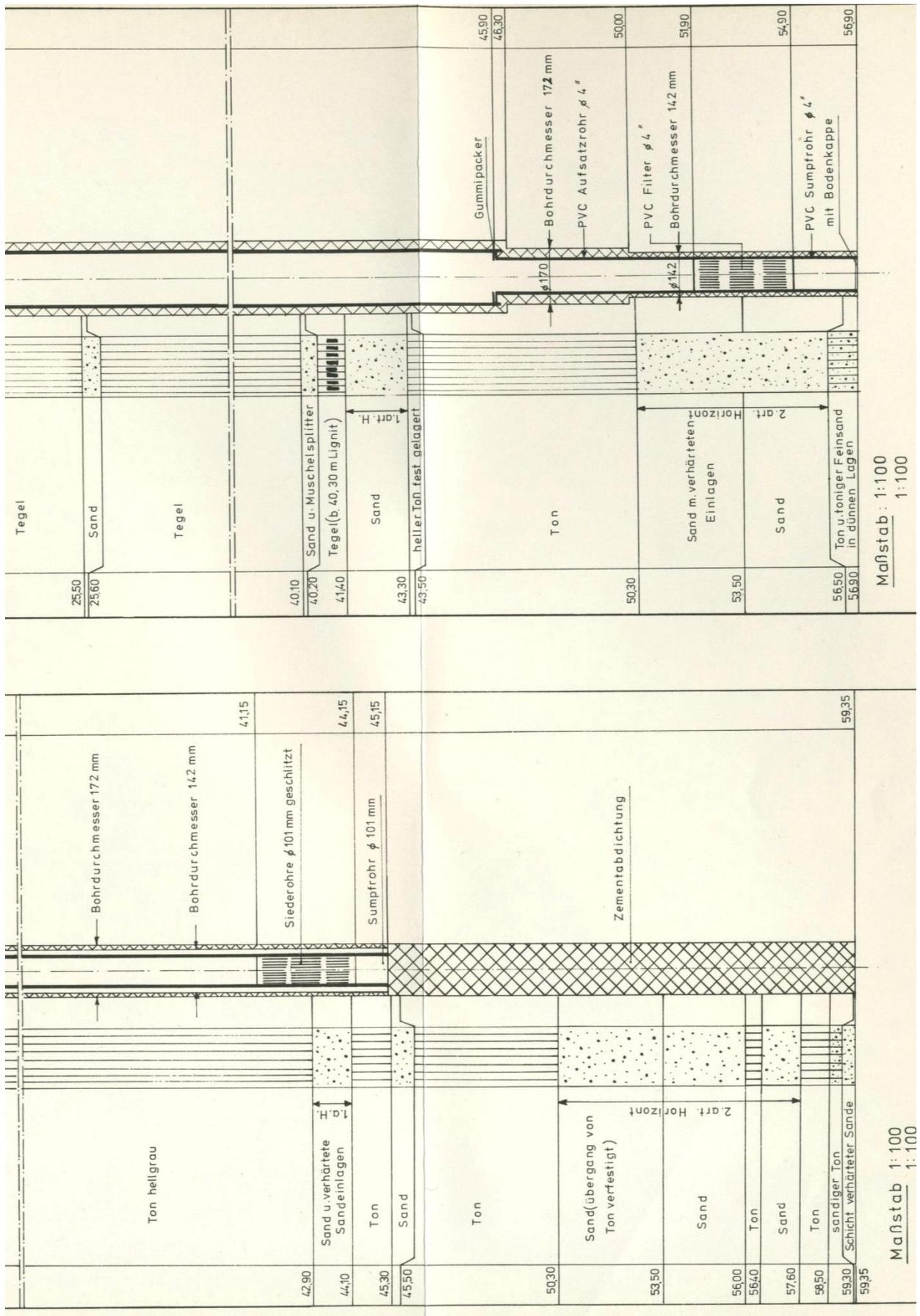


Abbildung Anhang 3: Bohrprofile der Bohrungen 1 und 2 in Grafendorf, 2. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)

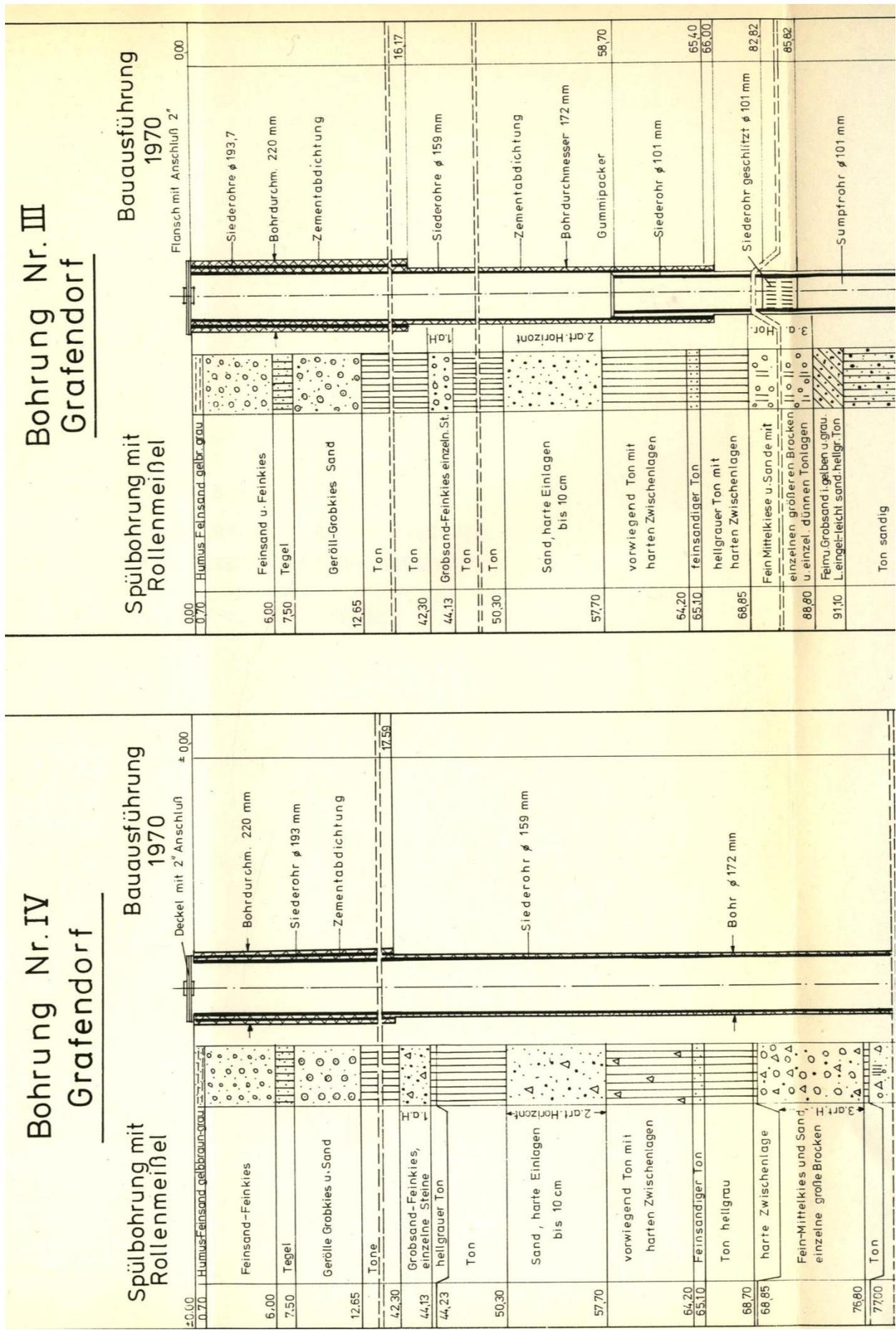


Abbildung Anhang 4: Bohrprofile der Bohrungen 3 und 4 in Grafendorf, 1. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)

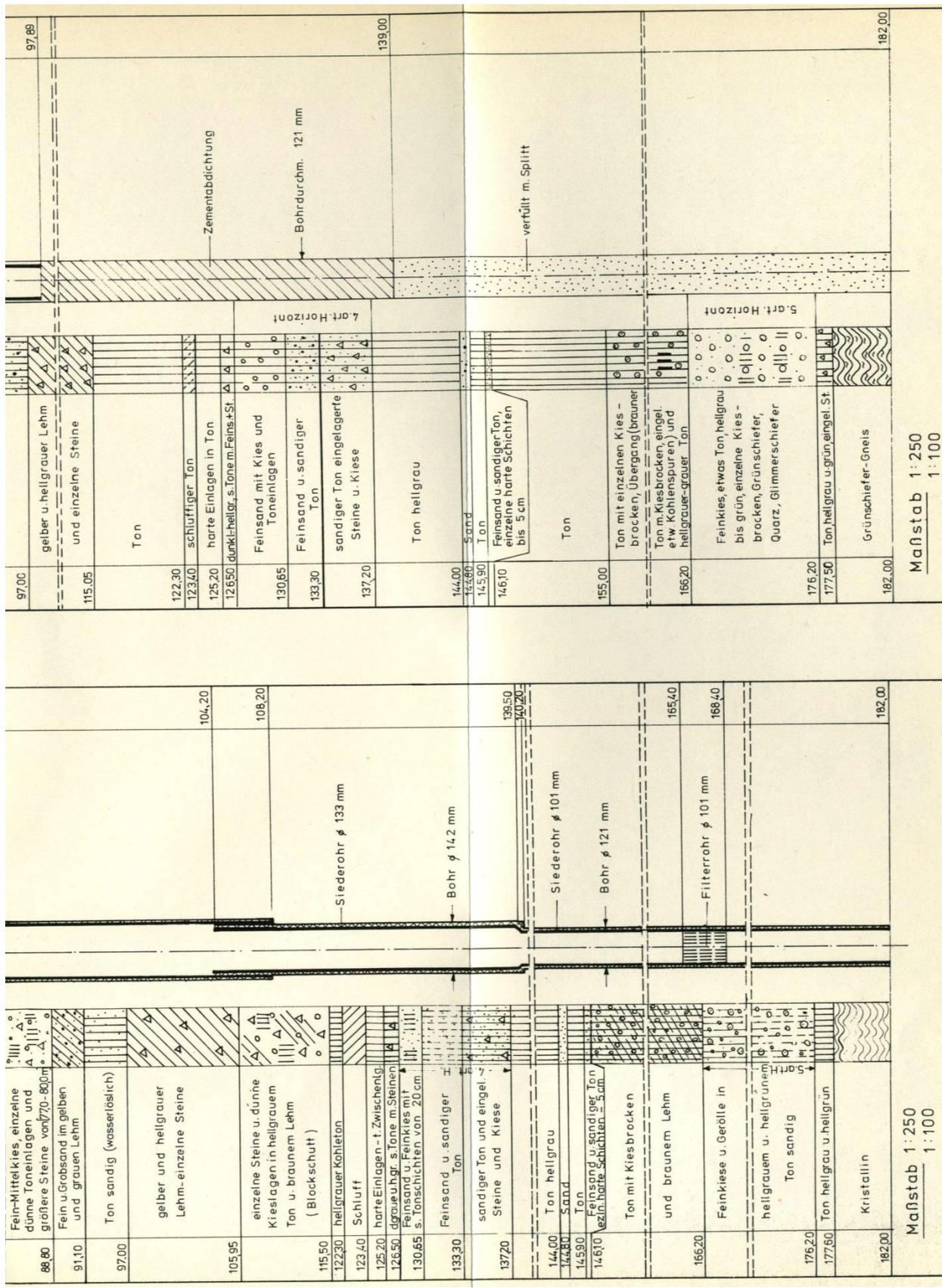


Abbildung Anhang 5: Bohrprofile der Bohrungen 3 und 4 in Grafendorf, 2. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)

Bohrung Nr. I Seibersdorf

Spülbohrung mit
Rollenmeißel

Bauausführung
Nov. Dez. 1969

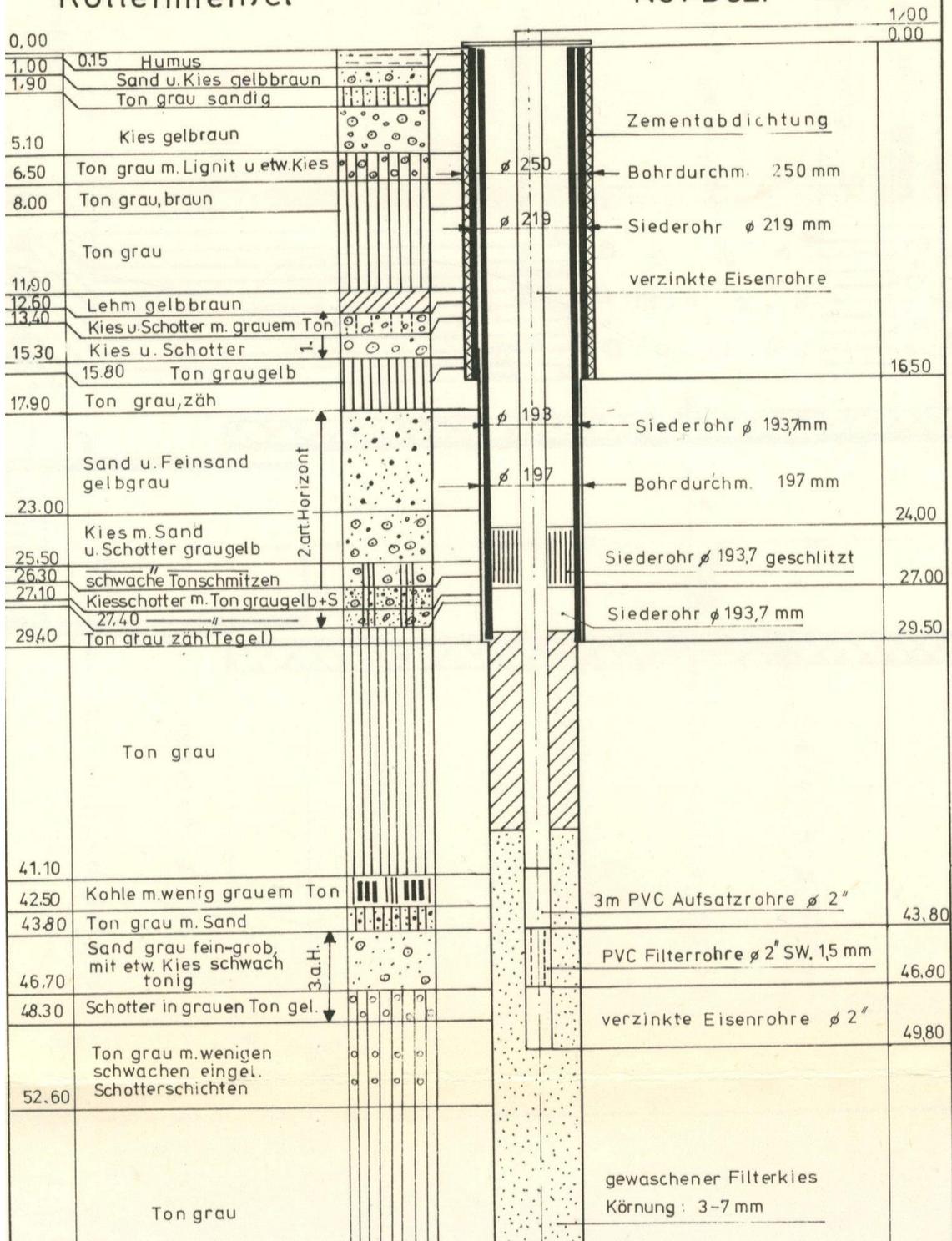


Abbildung Anhang 6: Bohrprofil der Bohrung 2 in Seibersdorf, 1. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)

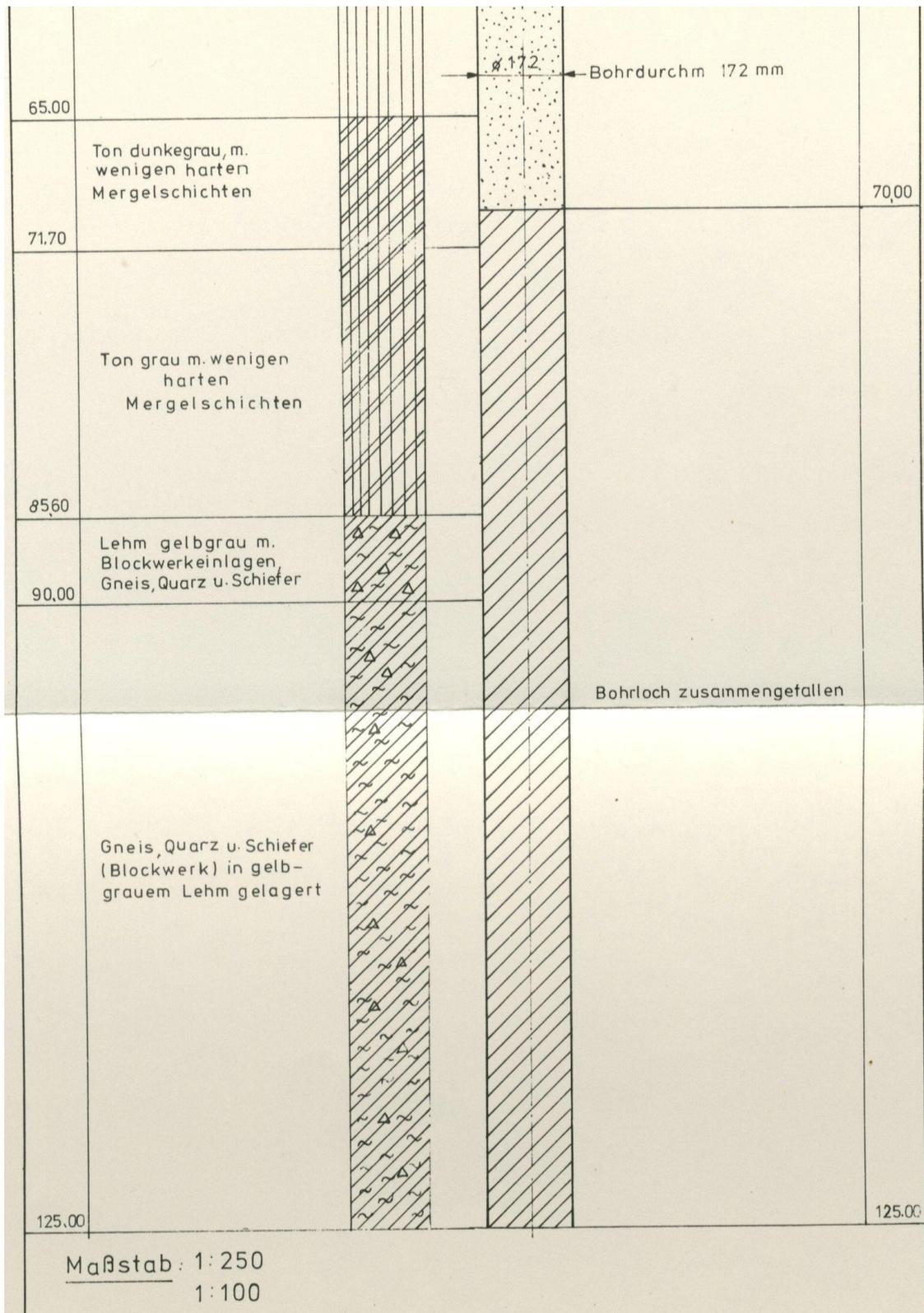
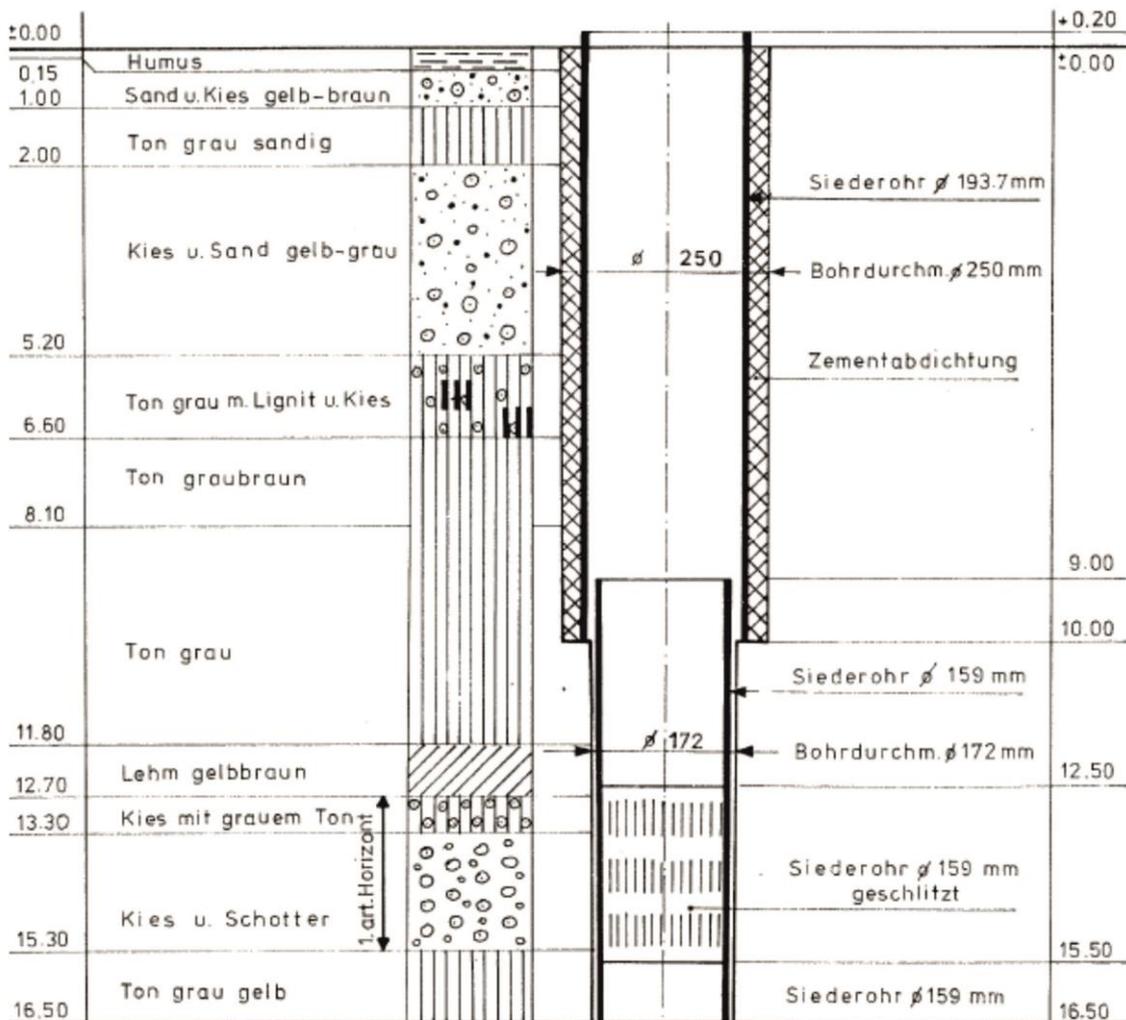


Abbildung Anhang 7: Bohrprofil der Bohrung 2 in Seibersdorf, 2. Abschnitt (Zetinigg et al., 1972)

Bohrung Nr. II Seibersdorf

Spülbohrung mit
Rollenmeißel

Bauausführung
1969



Maßstab: 1:100
1:75

Abbildung Anhang 8: Bohrprofil der Bohrung 1 in Seibersdorf (Zetinigg et al., 1972)

		l/u =	n	n(1)	n(2)	n(3)	n(4)	n(5)	n(6)	n(7)	n(8)	n(9)	n(10)
n	N	u =	N	N(-1)	N(-2)	N(-3)	N(-4)	N(-5)	N(-6)	N(-7)	N(-8)	N(-9)	N(-10)
1.000	1.0	W(u) =	2.194(-1)	1.823	4.038	6.332	8.633	1.094(1)	1.324(1)	1.544(1)	1.784(1)	2.015(1)	2.245(1)
0.833	1.2		1.584(-1)	1.660	3.858	6.149	8.451	1.075(1)	1.306(1)	1.536(1)	1.766(1)	1.996(1)	2.227(1)
0.666	1.5		1.000(-1)	1.465	3.637	5.927	8.228	1.053(1)	1.283(1)	1.514(1)	1.744(1)	1.974(1)	2.204(1)
0.500	2.0		4.890(-2)	1.223	3.355	5.639	7.940	1.024(1)	1.255(1)	1.485(1)	1.715(1)	1.945(1)	2.176(1)
0.400	2.5		2.491(-2)	1.044	3.137	5.417	7.717	1.002(1)	1.232(1)	1.462(1)	1.693(1)	1.923(1)	2.153(1)
0.333	3.0		1.305(-2)	9.057(-1)	2.959	5.235	7.535	9.837	1.214(1)	1.444(1)	1.674(1)	1.905(1)	2.135(1)
0.286	3.5		6.970(-3)	7.942(-1)	2.810	5.081	7.381	9.683	1.199(1)	1.429(1)	1.659(1)	1.889(1)	2.120(1)
0.250	4.0		3.779(-3)	7.024(-1)	2.681	4.948	7.247	9.550	1.185(1)	1.415(1)	1.646(1)	1.876(1)	2.106(1)
0.222	4.5		2.073(-3)	6.253(-1)	2.568	4.831	7.130	9.432	1.173(1)	1.404(1)	1.634(1)	1.864(1)	2.094(1)
0.200	5.0		1.148(-3)	5.598(-1)	2.468	4.726	7.024	9.326	1.163(1)	1.393(1)	1.623(1)	1.854(1)	2.084(1)
0.166	6.0		3.601(-4)	4.544(-1)	2.295	4.545	6.842	9.144	1.145(1)	1.375(1)	1.605(1)	1.835(1)	2.066(1)
0.142	7.0		1.155(-4)	3.738(-1)	2.151	4.392	6.688	8.990	1.129(1)	1.360(1)	1.590(1)	1.820(1)	2.050(1)
0.125	8.0		3.767(-5)	3.106(-1)	2.027	4.259	6.555	8.856	1.116(1)	1.346(1)	1.576(1)	1.807(1)	2.037(1)
0.111	9.0		1.245(-5)	2.602(-1)	1.919	4.142	6.437	8.739	1.104(1)	1.334(1)	1.565(1)	1.795(1)	2.025(1)

Abbildung Anhang 9: Werte für die Theis Brunnenfunktion $W(u)$ für gespannte Aquifere (Kruseman & de Ridder, 2000)

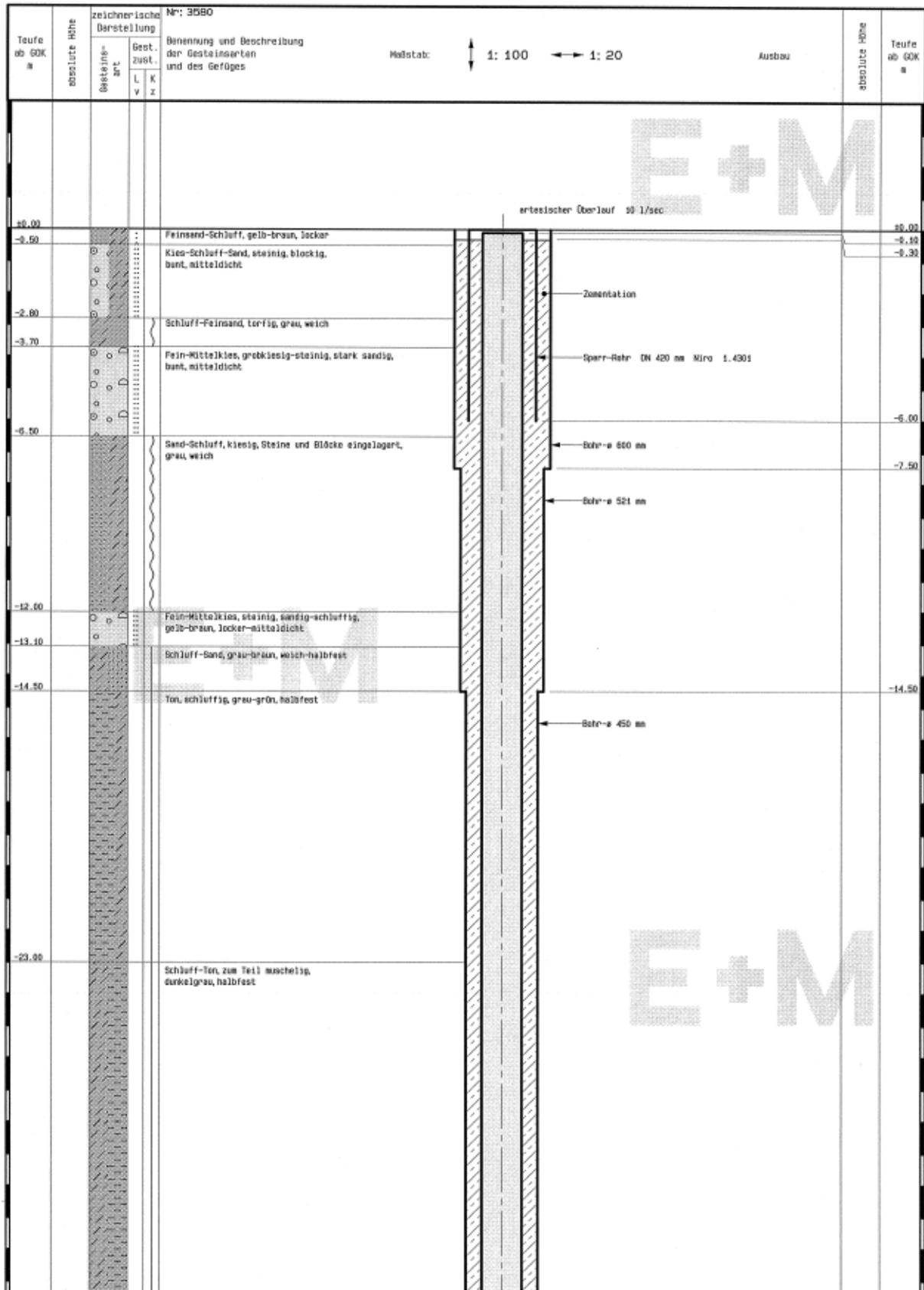
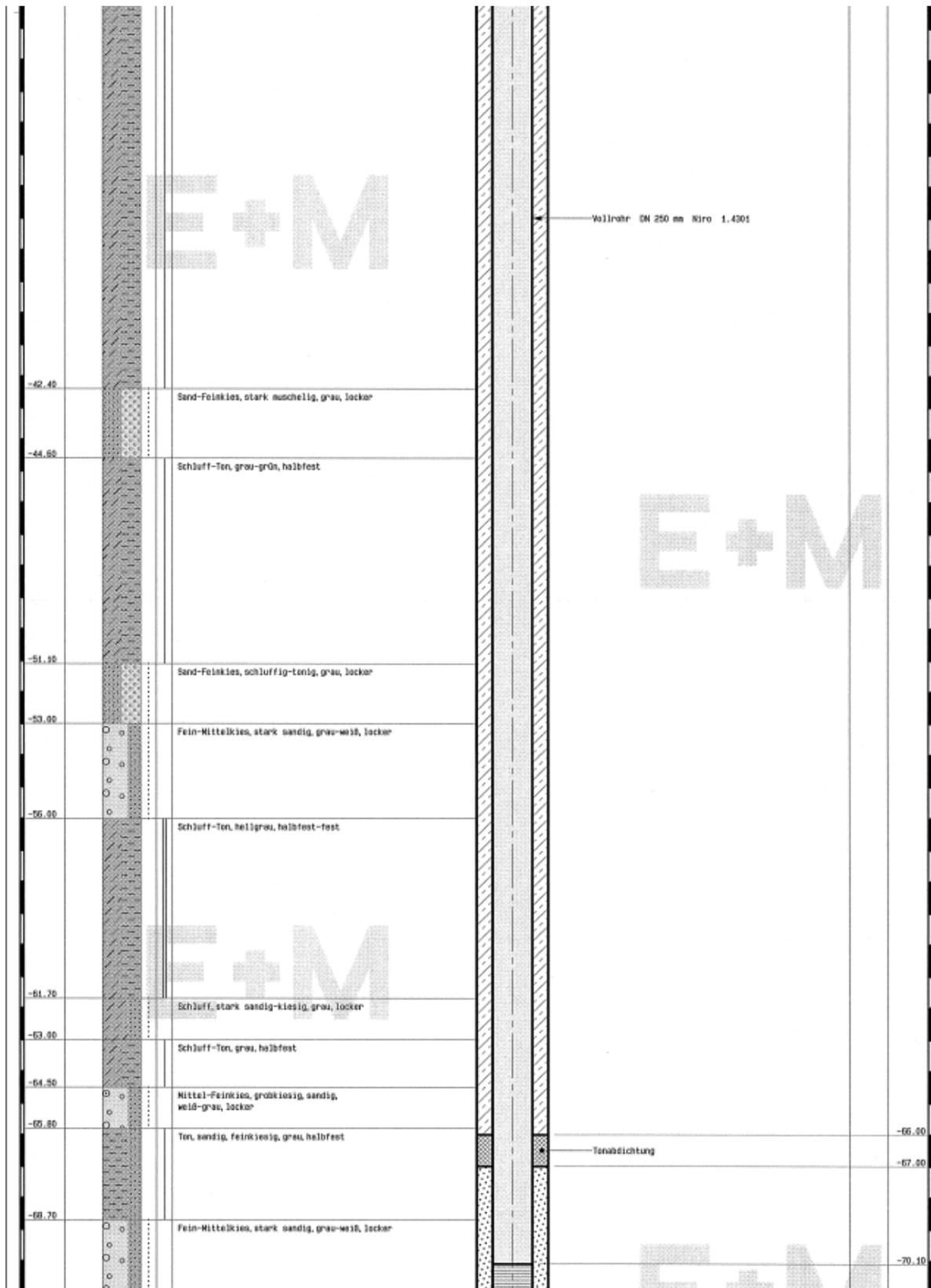
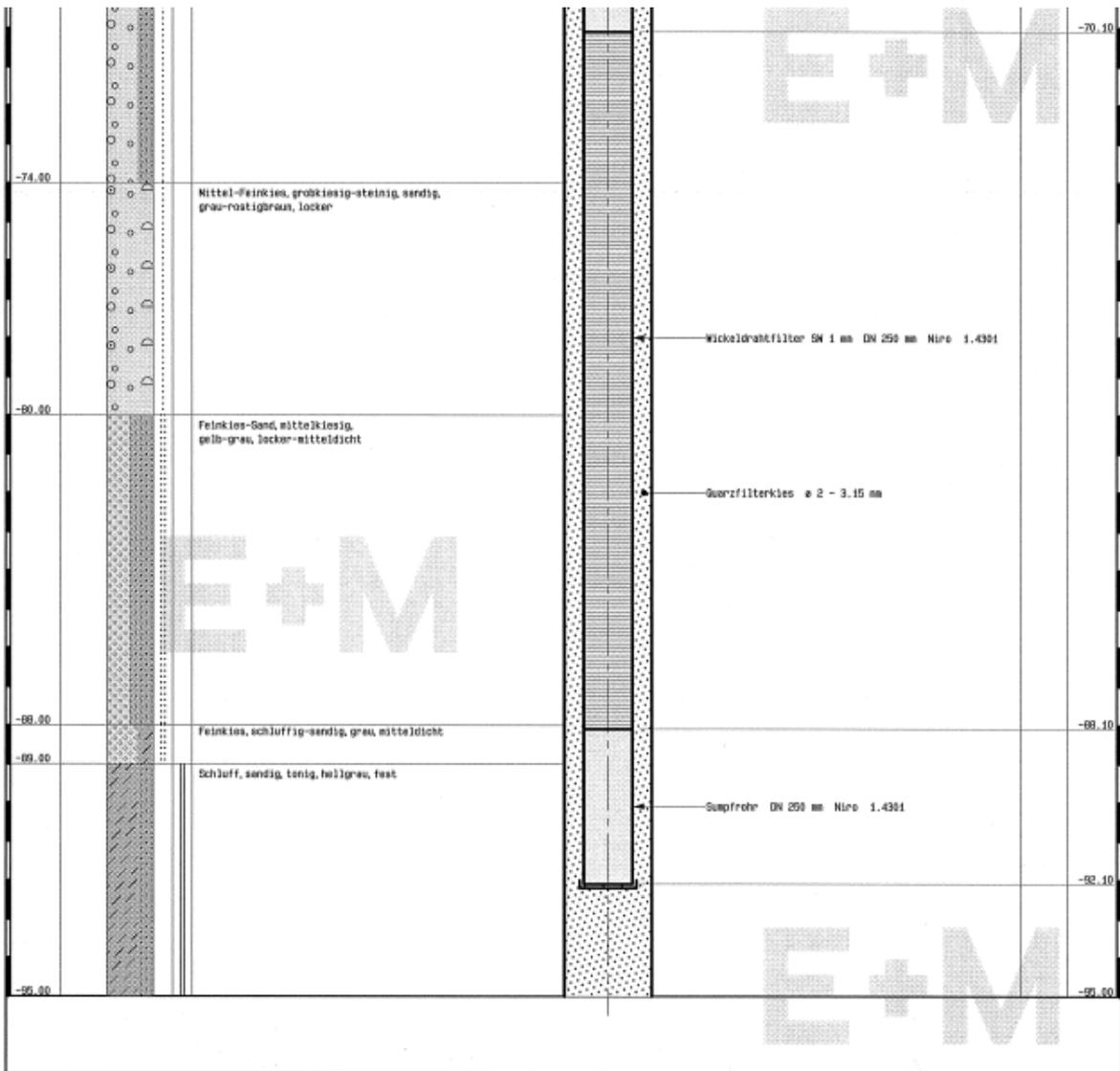


Abbildung Anhang 10: Bohrprofil des Artesers Grafendorf III, Teil 1 von 3 (Bohrfirma Etschel&Meyer - 8970 Schladming, 2006).



Bohrprofil des Artesers Grafendorf III, Teil 2 von 3 (Bohrfirma Etschel&Meyer - 8970 Schladming, 2006).



Bohrprofil des Artesers Grafendorf III, Teil 3 von 3 (Bohrfirma Etschel&Meyer - 8970 Schladming, 2006).



Josef Fuchs GmbH
Tiefen- und Brunnenbohrung
Kernbohrungs- und Diamantsägeunternehmen
8230 GREINBACH, Tel.: 03332/64789

ÖNORM B 4401

Bauvorhaben 8232 Grafendorf
Stambach

P/164280

Auftraggeber Stefan Hackl
Stambacherstraße 236
8232 Grafendorf

Bohrung/Schurf/Schacht Nr. 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6
Bericht Nr. 1 Datum 31.05.2012

Gelände (GOK) m bezogen auf Menge v. Verpressmaterial 700 kg / Bohrung

Wasserspiegel ab GOK Verrohrung ab GOK Arbeitszeit vom 29.05. bis 31.05.2012

um Uhr 1 m Ø 140 bis 17 m
um Uhr m Ø bis m
Wetter und Temperatur

Aufschlußart Bohrwerkzeug Spülung	Krone Kronen-Ø Bohr-Ø	Tiefe ab GOK in m		Beschreibung der Schichten Boden- Gesteinsart, Einschlüsse-Art Farbe, Beschaffenheit, Besonderheit	Wasser- beobachtung	Proben	
		von	bis			Art	Tiefe ab GOK
DB	4,5	0	1,5	Schluff			
DS		1,5	3,5	Kies - mittel - schluffig			
		3,5	16	Schluff			
		16	24	Ton braun			
		24	29	Sand			
		29	38	Ton grau - sandig			
		38	39	Kies fein bis mittel			
		39	42	Sand			
		42	49	Kies fein - sandig			
		49	50	Sand			

Sonstiges	Ausmaßfeststellung			zu Spalte 1 SOH OB SK OS WS LS DS BK OK
	Pos.	Menge	Bezeichnung	
	1	6 x 50 m	BWP und Einfach-U-Sonde Ø 40 mm	zu Spalte 1 LH LW LW
	2	1 x	An- und Abfahrt	zu Spalte 1 LH LW LW
	3	6 x	Auf- und Umbau der Gerätschaft	zu Spalte 1 LH LW LW
	4	6 x	verpressen	zu Spalte 1 LH LW LW
	5	6 x	Druckprobe	zu Spalte 1 LH LW LW
	6			zu Spalte 1 LH LW LW
	7		Bohrgeräte- und Grund u. Boden	zu Spalte 1 LH LW LW
	8			zu Spalte 1 LH LW LW
	9			zu Spalte 1 LH LW LW

Bohrgerät: Roto Max 2	Fortsetzungsbericht Nr.
Bohrerleitfänger (Name, Unterschrift)	Auftragnehmer (Name, Unterschrift)
Jesch Manuel	Josef Fuchs

Abbildung Anhang 11: Bohrprofil eines Brunnens, der sich in der Nähe des Brunnen 5960 befindet (300 m Luftlinie entfernt) (Bohrfirma Josef Fuchs - 8230 Greinbach, 2012).

Qu	1.00	LEHM braun - gelbbraun	
	15.70	TON braun - gelbbraun oxydiert (besonders im oberen Teil) grau-graubraun ± feinsandig-schluffig z.T. Feinrhythmik dünne Feinsandbestege bei 4.60m dünner Lignitrest	
	19.00	SAND hell-mittelgrau feinstmittelk z.T.grob porös z.T. tongeb. TONLAGE dunkelgrau	
	20.00	FEINSAND z.T. schluffig	
	20.65	M-GROBSAND-FEINKIES	
	27.70	SAND hellgrau fein-mittel z.T. grob u. kiesig porös tonig gebundene Lagen	
	35.40	SAND hellgrau fein - mittel z.T. grob u. kiesig porös TONLAGEN grau±feinsandig	
	37.37	FEIN-MITTELKIES porös	
	40.10	FEINSAND grau u. braungrau f-sand-schluff an d. Bas. einz. Kies	
Unterpannon	48.85	TON grau u. graubraun ± feinsandig - schluffig dünne Sandbestege	
	49.30	TONMERGEL hellgrau	
	55.80	TON grau-graubraun ± feinsandig-schluffig	
	60.00	FEINSAND grau u. braungrau schluffig	
	71.30	TON grau u. graubraun ± feinsandig-schluffig dünne Sandbestege	
	74.20	SAND grau f-m. z.T.grob por. FEINSANDLAGEN schluffig	
	76.30	FEINSAND grau schluffig	
	80.00	SAND hellgrau f-m. porös TONLAGEN grau u. graubraun	
	82.00	FEINSAND grau - schluffig	

	83.20	SAND hellgrau f. z.T. m. porös	
	85.40	TON grau	
	90.60	FEINSAND - SCHLUFF grau am Top u. an d. Basis m. gr.	
	94.00	TON grau - graubraun SAND hellgr. f-m z.T.gr. porös	
	100.35	FEINSAND - SCHLUFF grau	
	102.00	TON graubraun u. grau	
	114.50	FEINSAND - SCHLUFF grau mit Tonlage	
	115.70	TON mit Kalkmergellage	
	118.30	FEINSAND etwas tonig schw. porös u. FEINSAND - SCHLUFF	
	120.50	TON grau-graubraun ± feinsandig schluffig	
Unterpannon	124.10	FEINSAND grau schluffig	
	125.60	TON grau z.T. gelbgrau	
	134.80	FEINSAND grau schluffig einige gelbliche harte Lagen dünne Lagen v± schluffigem Ton. an der Basis dunkelbraun Lignitschmitze	
	137.10	TONMERGEL z.T. Ton grau-graubraun Feinsandlage	
	138.80	TON grau stärker feinsand-schl.	
	142.50	TON z.T. TONMERGEL grau u. graubraun SANDSTEIN grau fk	
	144.60	FEINSANDuTON wechsellag.	
	154.55	TONMERGEL u. TON graubraun, graugelbe Lagen Limnocardien u. Schnecken Wurmsspuren, Blattabdrücke Wurzelreste	
	157.85	TON - SCHLUFF graubr-grau	
	164.00	TON graugrün, grau u. graubr. SCHLUFFLAGE graubraun	

Abbildung Anhang 12: Bohrprofil des Brunnen 5966 (Bohrfirma Josef Fuchs - 8230 Greinbach, 2012).

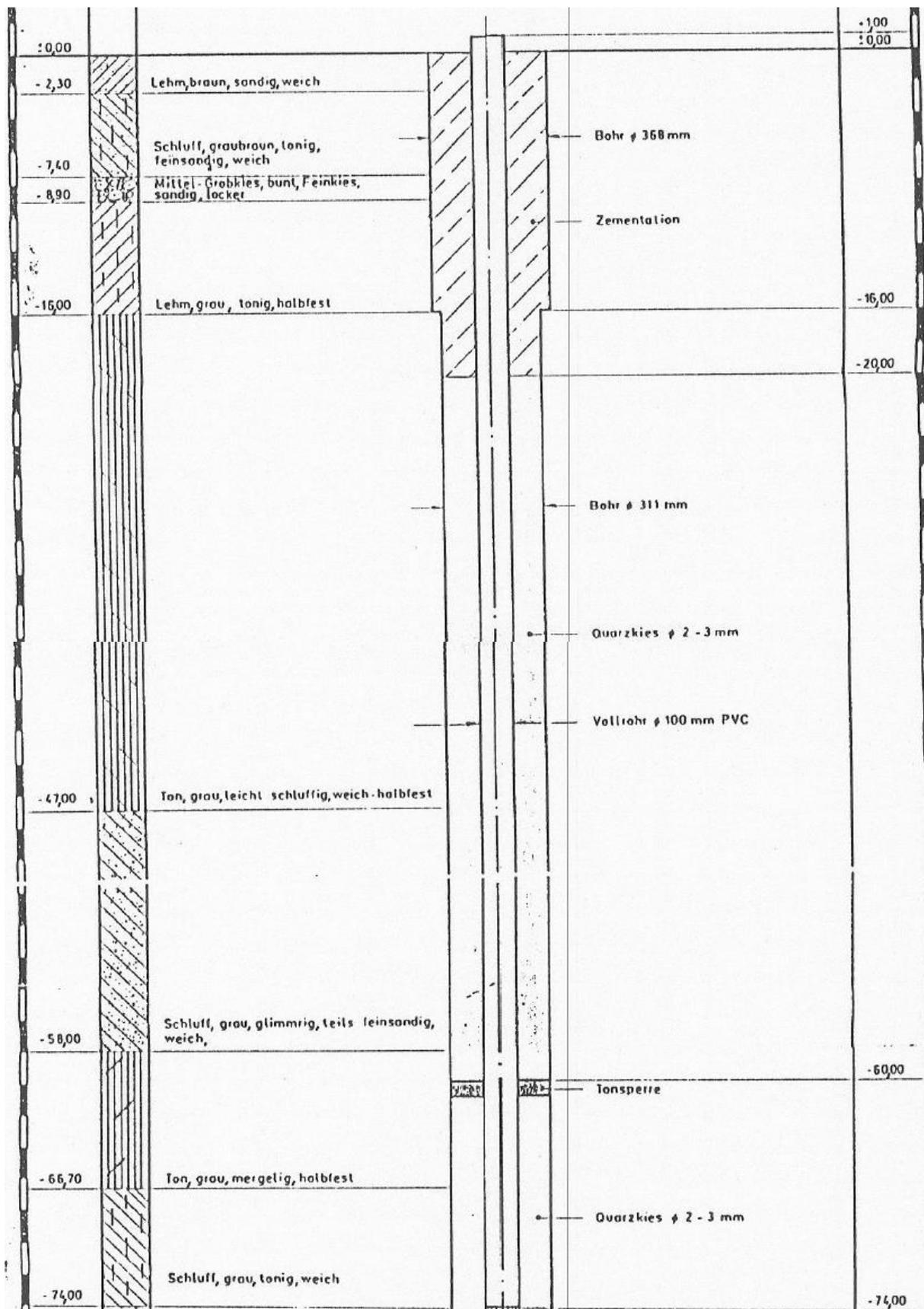
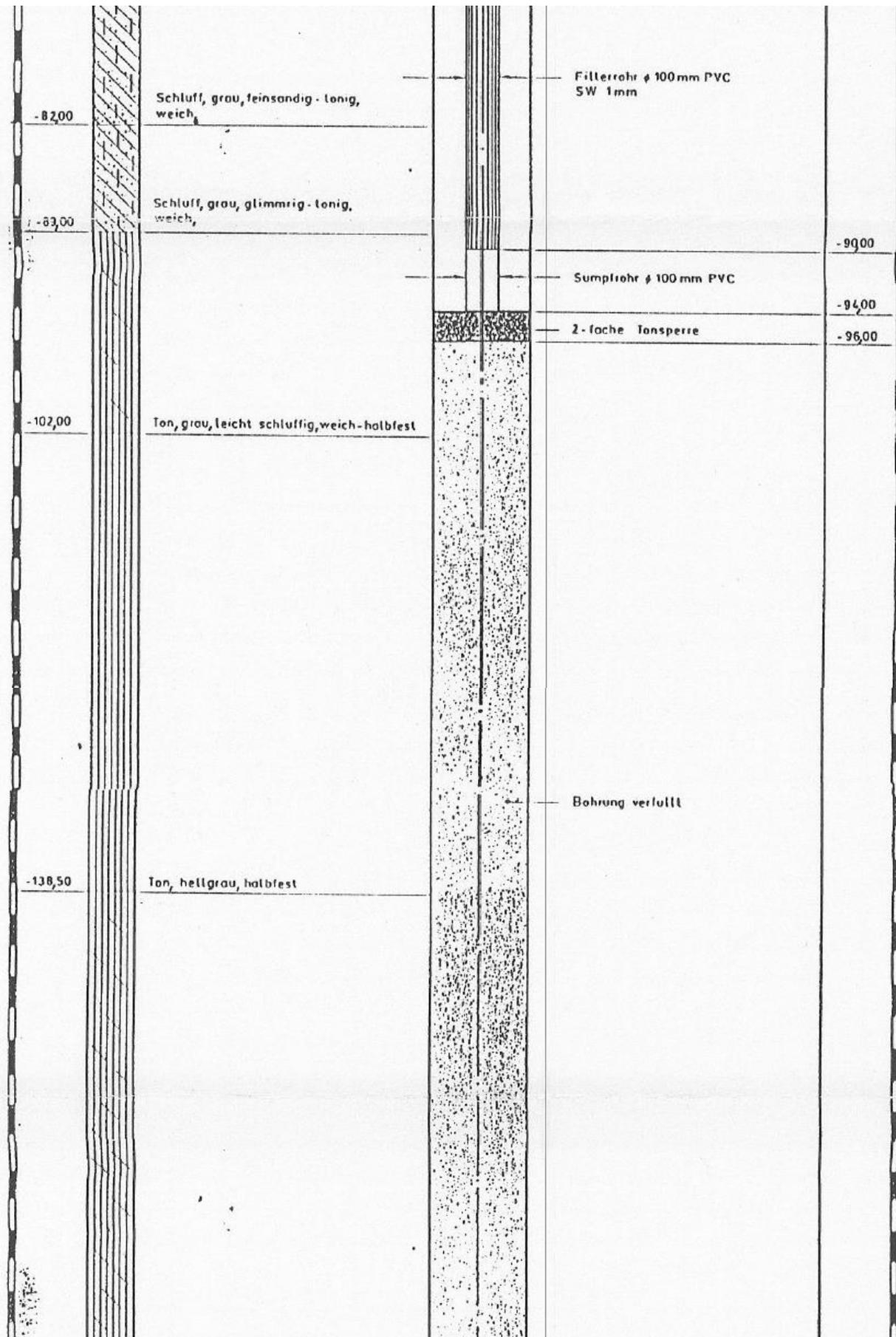
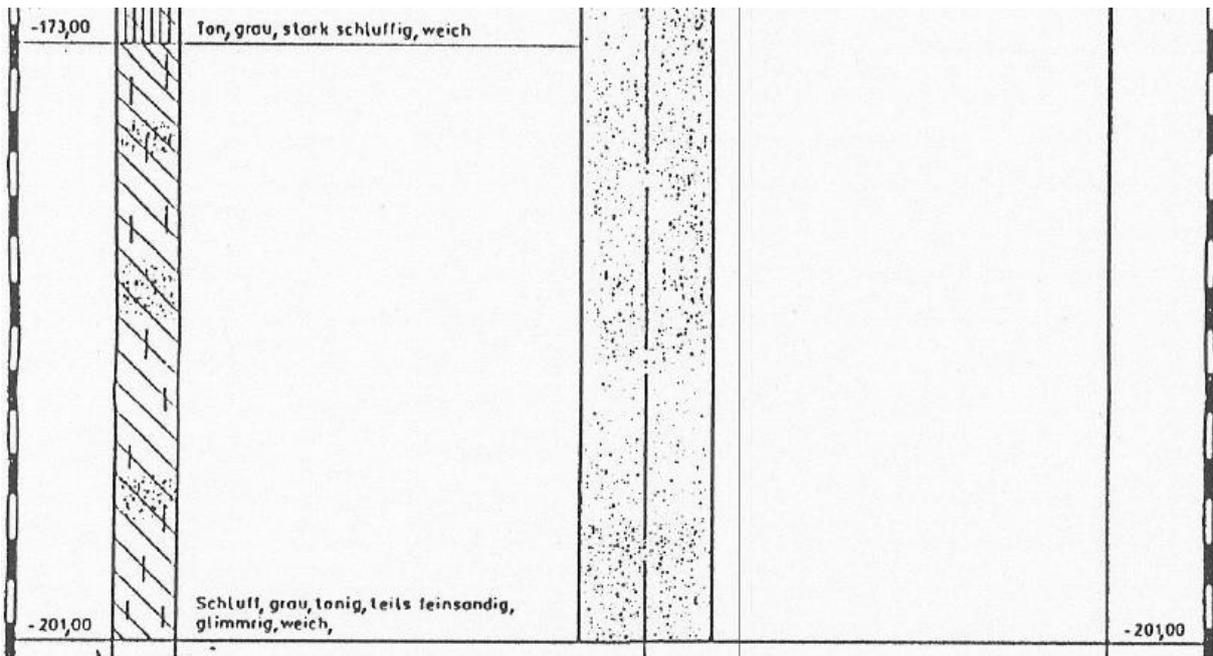


Abbildung Anhang 13: Bohrprofil des Brunnen 59680, Teil 1 von 3 (Bohrfirma Etschel & Meyer - 8970 Schlading, 1996).



Bohrprofil des Brunnen 59680, Teil 2 von 3 (Bohrfirma Etschel & Meyer - 8970 Schladming, 1996).



Bohrprofil des Brunnen 59680, Teil 3 von 3(Bohrfirma Etschel&Meyer - 8970 Schladming, 1996).