

Analyse und Auswertung langfristiger Druckspiegelaufzeichnungen von gespannten Aquiferen in der zentralen Oststeiermark

*Analysis and evaluation of long-term piezometric level records of confined aquifer
in the central part of Eastern Styria*

V. VASVÁRI¹⁾

Inhalt

| | Seite |
|---|-------|
| 1. Einleitung..... | 93 |
| 2. Das Untersuchungsgebiet und dessen hydrogeologische Verhältnisse..... | 94 |
| 3. Datenbasis..... | 96 |
| 3.1. Niederschlag..... | 96 |
| 3.2. Abfluß..... | 99 |
| 3.3. Luftdruck..... | 99 |
| 3.4. Druckspiegelganglinien..... | 99 |
| 3.5. Wasserentnahmen aus Versorgungsbrunnen..... | 100 |
| 3.6. Pumpversuche..... | 100 |
| 4. Auswertung langfristiger Druckspiegelaufzeichnungen..... | 102 |
| 5. Interaktion zwischen Oberflächengewässer und gespanntem Grundwasser..... | 114 |
| 6. Ermittlung der Luftdruckwirksamkeiten..... | 114 |
| 7. Ermittlung der Speicherkoeffizienten..... | 121 |
| Zusammenfassung..... | 122 |
| Literatur..... | 123 |
| Summary..... | 124 |
| Dank..... | 125 |

1. Einleitung

Der Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (L. BERNHART et al., 1974) weist die Oststeiermark als wasserarm aus. Wasserarme Gebiete müssen jedoch nicht zwangs-

¹⁾ Dipl. Ing. V. VASVÁRI, Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz, Mandellstraße 9, A-8010 Graz.

läufig Wassermangelgebiete sein, wie das am Beispiel des Bezirks Fürstenfeld/Oststeiermark bereits von F. RONNER & J. SCHMIED (1968) aufgezeigt wurde.

Die seichtliegenden gespannten Grundwasservorkommen in der Oststeiermark besitzen vor allem im ländlichen Raum eine große Bedeutung für die häusliche und kommunale Trinkwasserversorgung. Die derzeitige Situation ist allerdings durch erhebliche Mängel bei der Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen, insbesondere im privaten Bereich durch einen äußerst verschwenderischen Umgang mit den artesisch gespannten Grundwässern, gekennzeichnet, was im krassen Widerspruch zu den Erfordernissen einer künftigen Trinkwasserversorgung in dieser Region steht und somit einer grundlegenden Neuordnung zugeführt werden muß.

Um Planungsunterlagen für die Wasserversorgung schaffen zu können, wurden in den vergangenen Jahren mehrere Untersuchungen am Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der TU Graz im Auftrag des Referates für wasserwirtschaftliche Planung der Steiermärkischen Landesregierung durchgeführt, unter anderem auch die systematische Verarbeitung und Auswertung der Druckspiegelaufzeichnungen an den vom Referat errichteten Versuchsbohrungen.

Ziel dieser Untersuchung ist es, das hydraulische Verhalten gespannter Grundwässer in der zentralen Oststeiermark basierend auf den Druckspiegelganglinien zu erkunden. Dazu werden die seit Ende der 70er Jahre in Versuchsbohrungen der tertiären Beckenfüllung durchgeführten Pumpversuche und die systematisch aufgezeichneten Druckspiegelganglinien ausgewertet, Luftdruckwirksamkeiten und hydraulische Zusammenhänge untersucht.

Da die Einspeisungsvorgänge in die Aquifere wegen der komplizierten geologischen Wechsellagerung der wasserführenden und hemmenden Schichten noch nicht näher erforscht werden konnten, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit versucht, den Prozeß der Alimentation durch Auswertung und Analyse der Druckspiegelzeichnungen zu charakterisieren.

2. Das Untersuchungsgebiet und dessen hydrogeologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Oststeiermark, es erstreckt sich auf die politischen Bezirke Hartberg und Fürstenfeld. Aus geographischer Sicht setzt sich das Gebiet aus dem unteren Feistritztal und dem mittleren sowie unteren Safental zusammen, welche im N vom südlichen Ausläufer des Wechsel-Gebirges begrenzt sind.

Diese Gebirgszüge bilden auch eine eindeutige geologische Grenze zwischen dem kristallinen Grundgebirge und dem Tertiärbecken. Das Untersuchungsgebiet ist dem Fürstenfelder Becken zuzuordnen, welches ein Teilbecken des Oststeirischen Tertiärbeckens darstellt (Fig. 1).

Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die hydrogeologischen Verhältnisse des Oststeirischen Beckens nach H. ZETINIGG (1982) und J. G. ZÖTL (1983) gegeben.

Im oststeirischen Hügelland, in unmittelbarer Alpennähe, besteht das Pannon, dessen Mächtigkeit 300–600 m erreicht, vorwiegend aus fluviatilen und limnischen Ablagerungen, wobei die W-E- bis NW-SE-gerichtete tertiäre Hauptrinne im mehr oder weniger spitzen Winkel vom heutigen Entwässerungsnetz des Mittel- und Oberlaufes der Flüsse Lafnitz, Feistritz und Raab und ihren Zubringern gequert wird. Die genaue Lage der begrabenen Flußrinnen ist schwer zu bestimmen, da es auch damals Ver-

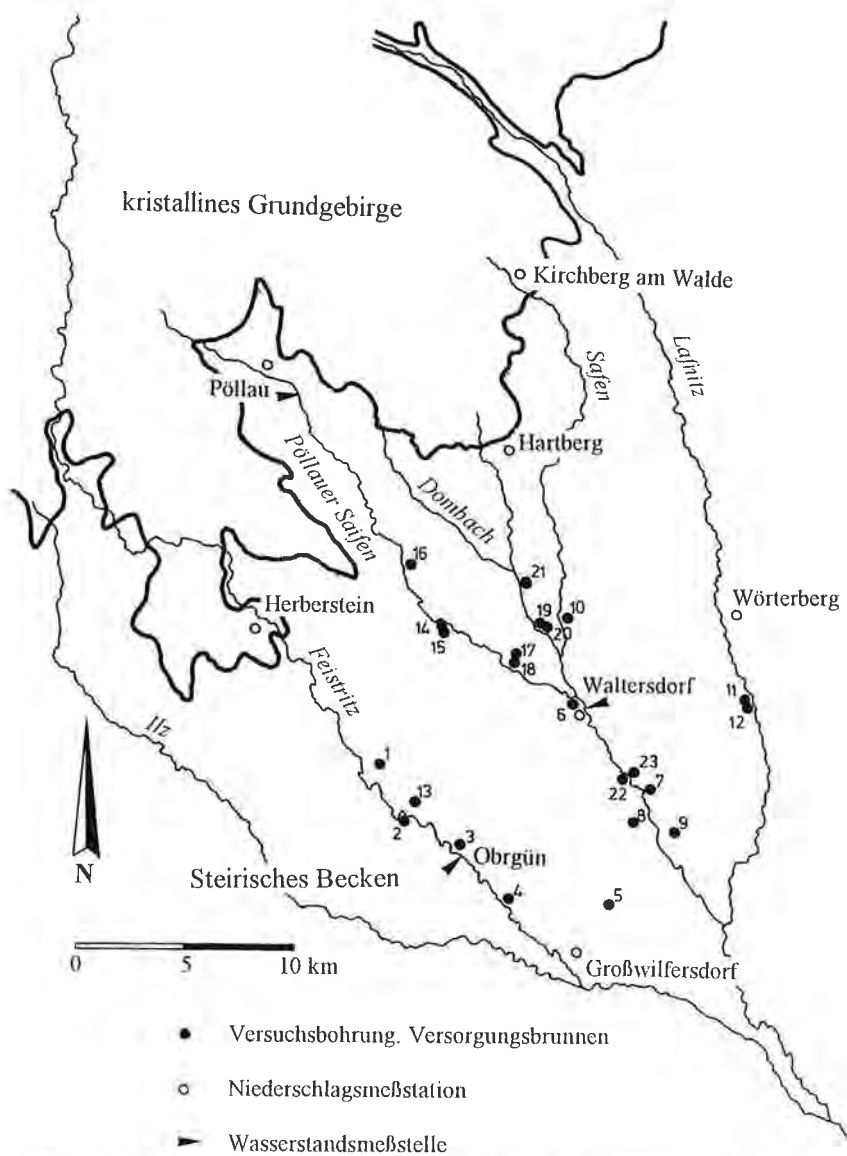


Fig. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit Beobachtungsnetz. Versuchsbohrungen: 1-Kroisbach, 2-Großhartmannsdorf 2, 3-Obgrün V2, 4-Hainersdorf, 5-Jobst, 6-Waltersdorf Nord, 7-Speilbrunn, 8-Waltersdorf Süd, 9-Kleinsteinbach, 10-Geiseldorf, 11-Neudau 1, 12-Neudau 2; Versorgungsbrunnen: 13-Großhartmannsdorf 1, 14-Kaindorf 1, 15-Kaindorf 2, 16-Kaindorf 3, 17-Ebersdorf 2, 18-Ebersdorf 3, 19-Dombachtal 1, 20-Dombachtal 2, 21-Dombachtal 3, 22-Leitersdorf 1, 23-Leitersdorf 2. General map of the investigation area with observation network. Observation wells: 1-Kroisbach, 2-Großhartmannsdorf 2, 3-Obgrün V2, 4-Hainersdorf, 5-Jobst, 6-Waltersdorf Nord, 7-Speilbrunn, 8-Waltersdorf Süd, 9-Kleinsteinbach, 10-Geiseldorf, 11-Neudau 1, 12-Neudau 2; supply wells: 13-Großhartmannsdorf 1, 14-Kaindorf 1, 15-Kaindorf 2, 16-Kaindorf 3, 17-Ebersdorf 2, 18-Ebersdorf 3, 19-Dombachtal 1, 20-Dombachtal 2, 21-Dombachtal 3, 22-Leitersdorf 1, 23-Leitersdorf 2.

lagerungen, Mäander, Altarme und Verwilderungen der Gerinne gab. In den Bereichen außerhalb der alten Flußläufe handelt es sich bei den Ablagerungen des Pannons um unbedeutende Feinsandlinsen in limnischen, tonigen und schluffigen Lagen von z. T. beachtlicher Mächtigkeit.

Das unter dem Pannon liegende Sarmat, das eine Mächtigkeit von ca. 750 m im Fürstfelder Becken aufweist, besteht großteils aus Brackwasserablagerungen von tonigen und sandigen Schichten bis zu karbonatischen Lagen. Die örtlich unterschiedliche Ausbildung und Verzahnung der Schichtglieder war durch die Vorstoß- und Rückzugsphasen des Meeres bedingt. So befinden sich z. B. neben einer von WSW gegen ENE gerichteten fluviatilen Deltaschüttung, die bis zu 30 m mächtige Schotter aufweist und die Basis des Obersarmats bildet, auch Brackwasserablagerungen ehemaliger Lagunen und z. T. Süßwasserkalke.

Die Basis des Tertiärbeckens bilden paläozoische Karbonatgesteine und Phyllite. Unter dem Paläozoikum liegt das kristalline Grundgebirge, dessen Gesteine auch am nördlichen Beckenrand aufgeschlossen sind.

Sowohl für Aquifere in pannonen als auch sarmatischen Ablagerungen besteht die Möglichkeit der Anreicherung durch Versickerung von Oberflächengewässern (H. ZOJER, 1972, 1981), falls diese Schichten in Form von Ausbissen im Bereich der heutigen Gerinne zu Tage treten. Wo die Schichten des Badens oberflächlich als Kalke oder Kalksteine austreichen, ist eine örtlich verstärkte Anreicherung der gespannten Grundwässer sowohl direkt durch Niederschläge als auch durch Versickerung von Oberflächengewässern gegeben.

Wie die hydrogeologischen Profile des Feistritz- und Safentales (H. ZOJER, 1987) und die Isolinienkarte der Pannonmächtigkeiten (J. E. GOLDBRUNNER et al., 1994) zeigen, liegen die wasserführenden Horizonte in dieser Region abwechselnd im Pannon und im Sarmat; im Safental sind sie überwiegend dem Sarmat und im Feistritzal hauptsächlich dem Pannon zuzuordnen.

Die Verbreitung von Grundwasserhorizonten im Pannon ist solchen im Sarmat, wo weitreichende zusammenhängende Flächen auftreten, nicht gleichzusetzten. Im Pannon hingegen sind die Aquifere gemäß der fluviatilen Sedimentation und den Grobablagerungen oft lokal begrenzt.

3. Datenbasis

3.1. Niederschlag

Um die Auswirkung der Niederschläge auf die Druckspiegelhöhen im Untersuchungsgebiet bestimmen zu können, wurden die Niederschlagsdaten folgender Niederschlagsstationen verwendet: Waltersdorf, Herberstein, Wörterberg, Großwilfersdorf.

Zur graphischen Gegenüberstellung der Druckspiegelganglinie und der Tagesniederschläge wurde die zu einer Versuchsbohrung nächstgelegene Niederschlagsstation herangezogen. Entsprechend der geologischen Struktur wäre es sinnvoll, noch weitere, hauptsächlich in W- bis N-Richtung von der betroffenen Bohrung situierte Niederschlagsstationen (wie z. B. Pöllau, Hartberg, Kirchberg am Walde) in die Untersuchung miteinzubeziehen, da sie im vermutlichen Einspeisungsgebiet der betroffenen Grundwasserleiter liegen (Fig. 1).

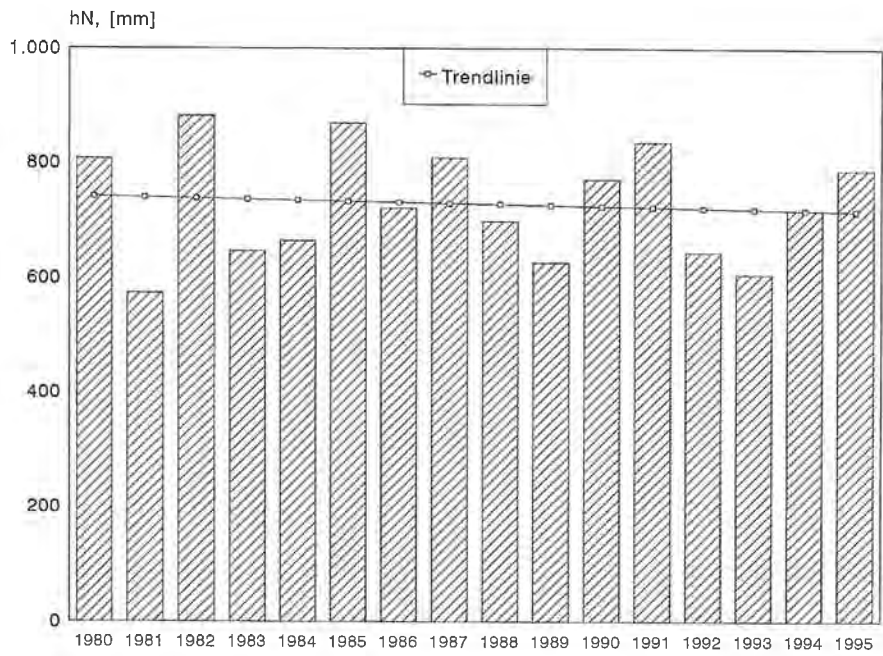


Fig. 2a: Jahresniederschläge an der Station Waltersdorf im Zeitraum von 1980–1995.
Annual precipitation at the station of Waltersdorf in the period between 1980 and 1995.

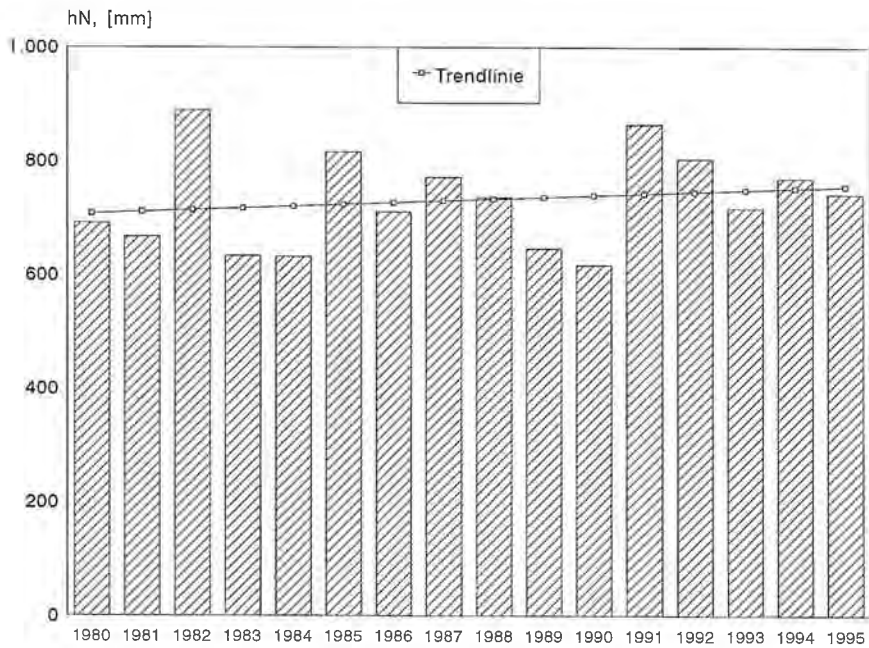


Fig. 2b: Jahresniederschläge an der Station Herberstein im Zeitraum von 1980–1995.
Annual precipitation at the station of Herberstein in the period between 1980 and 1995.

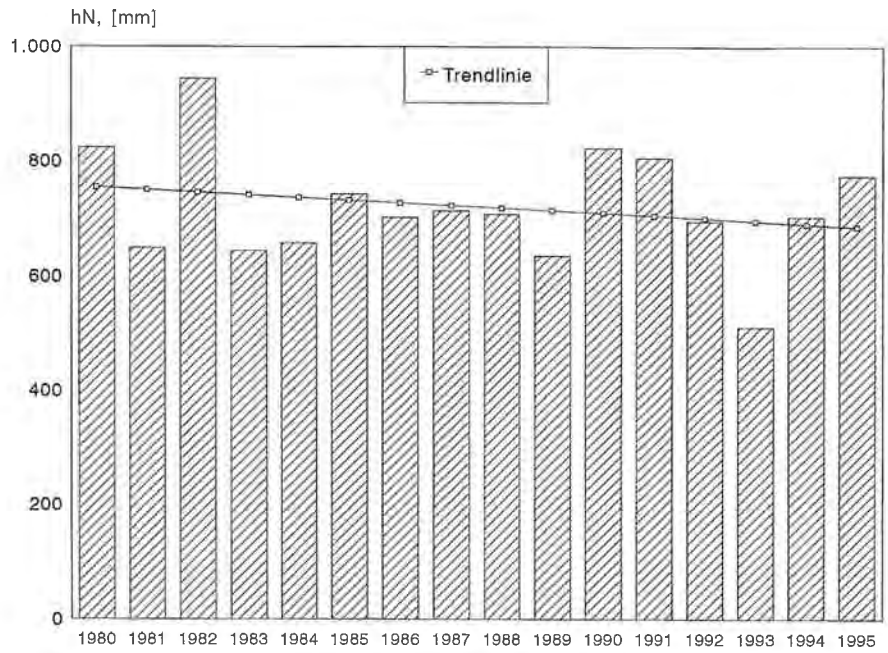


Fig. 2c: Jahresniederschläge an der Station Wörterberg im Zeitraum von 1980–1995.
Annual precipitation at the station of Wörterberg in the period between 1980 and 1995.

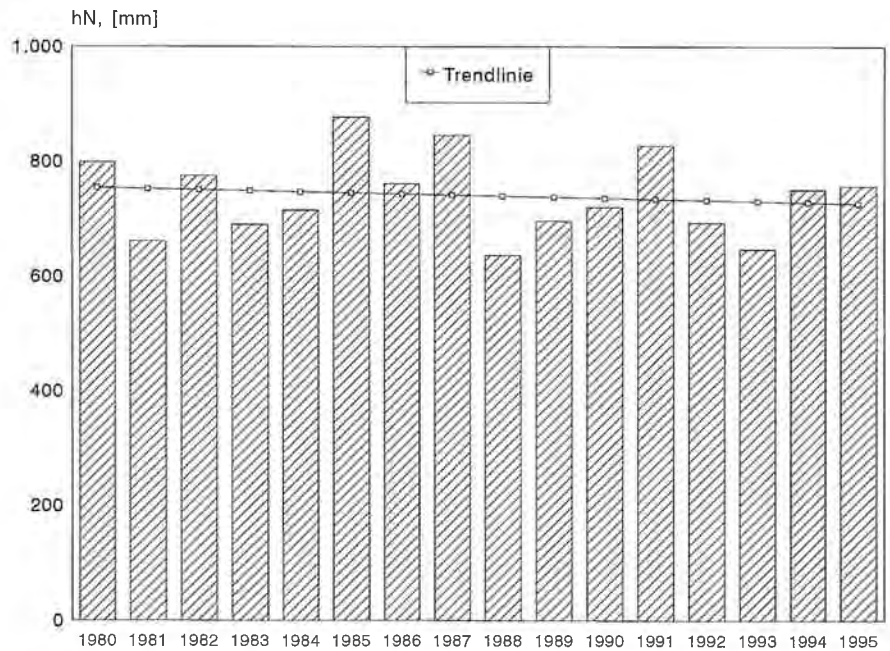


Fig. 2d: Jahresniederschläge an der Station Großwilfersdorf im Zeitraum von 1980–1995.
Annual precipitation at the station of Großwilfersdorf in the period between 1980 and 1995.

Die Diagramme in Fig. 2a–d zeigen die Änderungen der Jahresniederschlagssummen an den vier Niederschlagsstationen im Zeitraum von 1980–1995.

3.2. Abfluß

Die einzige im Untersuchungsgebiet liegende Wasserstandsmeßstelle ist in Waltersdorf am Safenbach ($A_U = 439,4 \text{ km}^2$) zu finden (siehe Fig. 1). Die Meßstelle existiert seit 1933, sie ist seit 1961 mit Schreibpegel ausgestattet. Die Wasserstands- und Abflußganglinien liegen in digitaler Form am Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie vor. Da mit der Beobachtung der Druckspiegelhöhen der gegenständlichen Versuchsbohrungen erst 1978 begonnen worden ist (Versuchsbohrung Jobst), wurden die digital gespeicherten Abflußganglinien nach Bearbeitung mit dem Programmpaket HEDA in Form von Jahresübersichten dargestellt (H. BERGMANN et al., 1992).

Von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz wurde an der Feistritz bei Obgrün eine Wasserstandsmeßstelle Ende der 60er Jahre installiert und beobachtet. Die Schreibstreifen liegen z. T. in der Hydrographischen Landesabteilung für Steiermark, z. T. am Institut für Geothermie und Hydrogeologie der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH sowie am Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie vor. Die aufgezeichneten Wasserstandsganglinien wurden für den Zeitraum von 1989–1995 ähnlich dem Digitalisiervorgang der Druckspiegelganglinien verarbeitet und ausgewertet.

Außerhalb des Untersuchungsgebietes liegt die Pegelstelle Pöllau ($A_E = 57,5 \text{ km}^2$) am Pöllauer Saifenbach, deren Ganglinien mit denjenigen der Versuchsbohrungen Kaindorf 1 und 2 verglichen wurden. Die Einzugsgebietsfläche vergrößert sich allerdings bis zur Mündung in den Safenbach auf $180,7 \text{ km}^2$.

3.3. Luftdruck

Die Luftdruckwerte der meteorologischen Station Graz-Flughafen (MZA) wurden für die Ermittlung der Luftdruckwirksamkeit (barometrischer Koeffizient) der gespannten Aquifere verwendet. Wie von H. BERGMANN & F. ÜBERWIMMER (1992) festgestellt, können als Luftdruckwerte auch Meßwerte entfernter Stationen verwendet werden, da im Zuge dieser Betrachtungen nur die Schwankungen des Luftdrucks von Interesse sind, jedoch nicht die absoluten Luftdruckmeßwerte. Die Tagesmittelwerte der Schwankungen des Luftdrucks sind jedoch über einige Dutzend Kilometer hinweg gleich. Zur Berechnung der Luftdruckwirksamkeit gespannter Grundwasserleiter wurde das Verfahren von W. E. CLARK (1967) herangezogen, wobei ein Zeitintervall von einem Tag gewählt wurde, um Störeinflüsse mit Periodenlängen von einem halben oder einem Tag auszuschalten. Dazu wurden Tagesmittelwerte des Luftdruckes verwendet.

Zur Korrektur der Druckspiegelganglinien wurde unter Beachtung der Höhenlage der Versuchsbohrungen ein Normalwert des Luftdrucks von 730 Torr (973 mbar) zugrundegelegt.

3.4. Druckspiegelganglinien

Zur Untersuchung wurden Versuchsbohrungen ausgewählt, die mindestens einen Beobachtungszeitraum von vier Jahren aufweisen, um Aussagen über die Entwicklung der Druckspiegelhöhenverhältnisse im Aquifer treffen zu können. Die in die Unter-

suchung einbezogenen Versuchsbohrungen mit ihren wichtigsten Daten sind in Tab. 1 zusammengefaßt.

Die Druckspiegelganglinien der in Tab. 1 aufgezählten Grundwassermessstationen wurden im Auftrag des Referates für wasserwirtschaftliche Planung verarbeitet und liegen in digitalisierter Form als Polygonzug am Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie vor. Beim Digitalisieren der Ganglinien wurde entsprechend der Beschreibung im folgenden Absatz vorgegangen.

Grundwasserdruckspiegelganglinien der Meßstellen werden auf Monatsschreibstreifen registriert. Auf den Schreibstreifen sind die Werte der zum Zeitpunkt des Streifenwechsels monatlich vorgenommenen Kontrollmessungen eingetragen. Beim Wechsel der Schreibstreifen wird das Abstichmaß gemessen, aus dem die Druckspiegelhöhe bestimmt werden kann. Weiters wird zugleich der Zeitpunkt dieser Kontrollmessung auf dem Schreibstreifen eingetragen. Die Druckspiegelhöhenganglinie muß nun hinsichtlich ihres zeitlichen und höhenmäßigen Verlaufes an diese Kontrollmessungen angepaßt werden, um die Ungenauigkeit des Uhrwerks und des Schwimmers des Grundwasserpegels auszugleichen. Die zeitliche Streckung der Ganglinien wird automatisch vom Digitalisierprogramm durchgeführt. Differenzen zwischen den bei den Kontrollmessungen bestimmten Abstichmaßen und den Anfangs- und Endpunkten der Ganglinie werden so ausgeglichen, daß die Druckspiegelhöhenganglinie entsprechend diesen Abweichungen gedreht wird. Um große Fehler im Zuge der Digitalisierung und Datenaufbereitung zu vermeiden, sind in das Digitalisierprogramm mehrere Kontrollrechnungen eingebaut (H. BERGMANN et al., 1993). Das Ergebnis dieser Digitalisierung sind Jahresfiles der Druckspiegelhöhen mit 3–10 Punkten pro Tag. Um Tagesmittelwerte zu erhalten, werden die digital erfaßten Punkte durch ein weiteres Programm nach der Trapezregel gemittelt. Die so erhaltenen Tagesmittelwerte bilden die Grundlage der Untersuchungen. Mit Hilfe eines weiteren Programmoduls werden Luftdruckwirksamkeiten ermittelt und sowohl die gemessenen als auch die luftdruckkorrigierten Ganglinien mit den Tagesniederschlägen und den Tagesmittelwerten des Luftdrucks dargestellt (Fig. 3).

Die Druckspiegelganglinien der Bohrungen, deren Rohroberkante höhenmäßig vermessen wurde, werden in Seehöhe (m ü. A.) angegeben, während bei Bohrungen ohne vermessene Rohroberkante die Druckspiegelhöhen als Abstichmaß unter der Rohroberkante (m) angegeben werden.

3.5. Wasserentnahmen aus Versorgungsbrunnen

Gewisse Versuchsbohrungen wurden nach Durchführung eines Pumpversuches und nach mehrjähriger Beobachtung der Druckspiegelhöhe zur Wasserversorgung in Betrieb genommen. Die Wasserversorgungsbrunnen, die durch die Entnahme die Druckspiegelhöhe benachbarter Versuchsbohrungen beeinflussen können, sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

3.6. Pumpversuche

Vom Referat für wasserwirtschaftliche Planung wurden Pump- bzw. Überlaufversuche in den in Tab. 1 angeführten Bohrungen zur Erkundung tiefliegender Grundwasservorkommen durchgeführt und von Zivilingenieurbüros ausgewertet. Die Pumpversuchsdaten sind in Form von Protokollen (Zeit/Absenkung bzw. Zeit/Überlaufmenge) vorhanden.

Tab. 1: Die untersuchten Versuchsbohrungen in der zentralen Oststeiermark. Die in Tab. 1 wiedergegebenen Daten wurden anhand der Gutachten von Ch. KAISER (1983, 1985, 1987, 1988, 1989, 1991) und J. NOVAK (1978, 1979, 1980, 1981, 1984) zusammengestellt.
 The investigated observation wells in the central part of Eastern Styria. The data in tab. 1 are compiled according to Ch. KAISER's (1983, 1985, 1987, 1988, 1989, 1991) and J. NOVAK's (1978, 1979, 1980, 1981, 1984) reports.

| Versuchsbohrung | Jahr der Errichtung | Beobachtungszeitraum | Filterstrecke(n) (m u. Gel.) | Formation | Mächtigkeit (m) | Pumpversuch | Q_{\max} (l/s) | s_{\max} (m) | Endteufe (m) |
|---|---------------------|------------------------|------------------------------|-----------|-----------------|--|------------------|----------------|--------------|
| Feistritztal | | | | | | | | | |
| Kroisbach Obgrün V2 Hainersdorf | 1981 | 1981-1995 | 74,5-79,5 | Pannon | 5,0 | 06.07.-11.07.1981 | 5,3 | 7,12 | 88,2 |
| | 1969 | 1989-1995 | 22,0-24,0 | Pannon | 1,9 | — | — | — | 26 |
| | 1979 | 1989-1995 | 90,0-110,0 | Pannon | 3,4 | 21.08.-27.08.1979 06.12.-07.12.1984 | 4,8 3,8 | 7,15 19,67 | 140 60 |
| Jobst | 1978 | 1978-1983 1990-1995 | 32,0-38,0 | Pannon | 2,1 | 19.07.-28.07.1978 | 1,65 | 9,01 | |
| Safental | | | | | | | | | |
| Geiseldorf Waltersdorf Nord Waltersdorf Süd | 1980 | 1980-1995 | 26,0-32,0; 44,0-57,0 | Sarmat | 7,0 | 01.07.-05.07.1980 | 5,0 | 4,30 | 150 |
| | 1989 | 1989-1995 | 56,0-68,0; 76,0-80,0 | Sarmat | 5,5 | 22.06.-27.06.1989 | 3,0 | 9,26 | 100 |
| | 1987 | 1988-1995 | 72,3-78,0 | Pannon | 4,4 | 25.08.-07.09.1987 28.09.-10.10.1988 | 1,7 1,7 | 7,83 9,66 | 150 150 |
| Kaindorf 1 Kaindorf 2 | 1983 | 1983-1989 | 58,0-60,0; 64,0-68,0 | Sarmat | 5,2 | 04.08.-10.08.1983 13.05.-30.07.1985 | 4,0 4,35 | 11,70 13,61 | 150 30 |
| | 1983 | 1983-1989 | 16,0-26,0 | Sarmat | 10,2 | 04.08.-10.08.1983 13.05.-30.07.1985 | 3,5 3,95 | 9,47 4,91 | |
| Lafnitztal | | | | | | | | | |
| Neudau 1 Neudau 2 | 1990 | 1991-1995 | 90,0-96,0 | Pannon | 4,5 | 10.09.-04.10.1990 | 3,0 | 15,5 | 150 |
| | 1990 | 1991-1995 | 26,3-28,3 | Pannon | 2,2 | 10.09.-04.10.1990 | 3,0 | 17,2 | 30 |

Tab. 2: Versorgungsbrunnen im Untersuchungsgebiet.
Supply wells in the investigation area.

| Versorgungsbrunnen | Beginn der Entnahme | Konsensmenge (l/s) |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Feistritztal | | |
| Großhartmannsdorf 1 | 1991 | 1,5 |
| Safental | | |
| Dombachtal 1 | 1988 | 1,5 |
| Dombachtal 2 | 1988 | 2,4 |
| Dombachtal 3 | 1988 | 0,5 |
| Kaindorf 1 | 1992 | 3,0 |
| Kaindorf 2 | 1992 | 4,0 |
| Kaindorf 3 (West) | 1987 | 3,0 |
| Leitersdorf 1 | 1988 | 3,2 |
| Leitersdorf 2 (ÖBB) | 1990 | 1,0 |
| Ebersdorf 2 | 1978 | 2,8 |
| Ebersdorf 3 | 1985 | 2,7 |

Die Auswertung der Ergebnisse der obigen Pumpversuche erbrachte Informationen über die Transmissivität bzw. Durchlässigkeit des in einer Bohrung angezapften Horizontes sowie gegebenenfalls über die Beeinflussung von Hausbrunnen in der unmittelbaren Umgebung. Informationen über eine gegenseitige Beeinflussung von Bohrungen benachbarter Gemeinden liegen nur für die Bohrungen Großhartmannsdorf 1, Großhartmannsdorf 2, Großsteinbach 2 und Kroisbach im mittleren Feistritztal vor. Wie aus ihrer gegenseitigen Beeinflussung bei Entnahmeversuchen erkennbar ist, hängen in diesem Gebiet die vier Bohrungen hydraulisch zusammen (H. BERGMANN et al., 1993).

Die Speicherkoeffizienten wurden im Laufe der Auswertungen der Pumpversuchsdaten von Zivilingenieurbüros nur in wenigen Fällen ermittelt.

4. Auswertung langfristiger Druckspiegellaufzeichnungen

Die kontinuierlich aufgezeichneten Druckspiegelganglinien wurden jahresweise bearbeitet und auf dreifachen Ausdrucken (Druckspiegelganglinie – Tagesmittelwerte des Luftdrucks der Station Graz-Flughafen – Tagesniederschläge der nächstgelegenen Niederschlagsstation) dargestellt. Diese Darstellung erlaubt nicht nur den Vergleich der Druckspiegelganglinien mit der Niederschlagstätigkeit, sondern auch mit den Luftdruckschwankungen. Im Laufe dieser Auswertungen wurden auch die luftdruckkorrigierten Ganglinien der Stationen ermittelt, sofern eine signifikante Luftdruckwirksamkeit festgestellt werden konnte (Fig. 3). An der luftdruckkorrigierten Ganglinie in Fig. 3 ist gut zu erkennen, welche Schwankungen der Druckspiegelhöhe in welchem Maße den Luftdruckschwankungen oder dem Niederschlag zuzuschreiben sind.

In diesem Zusammenhang muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß in den Bohrungen Geiseldorf und Waltersdorf Nord sowie Kaindorf 1 gleichzeitig mehrere (zwei oder drei) Horizonte jeweils von zwei Filterstrecken erschlossen werden, d. h. ein gemischtes Druckspiegelniveau in diesen Bohrungen gemessen wird.

Der Jahresgang der Druckspiegelhöhe wird generell von folgenden Faktoren bestimmt:

BOHRUNG HAINERSDORF - 1993

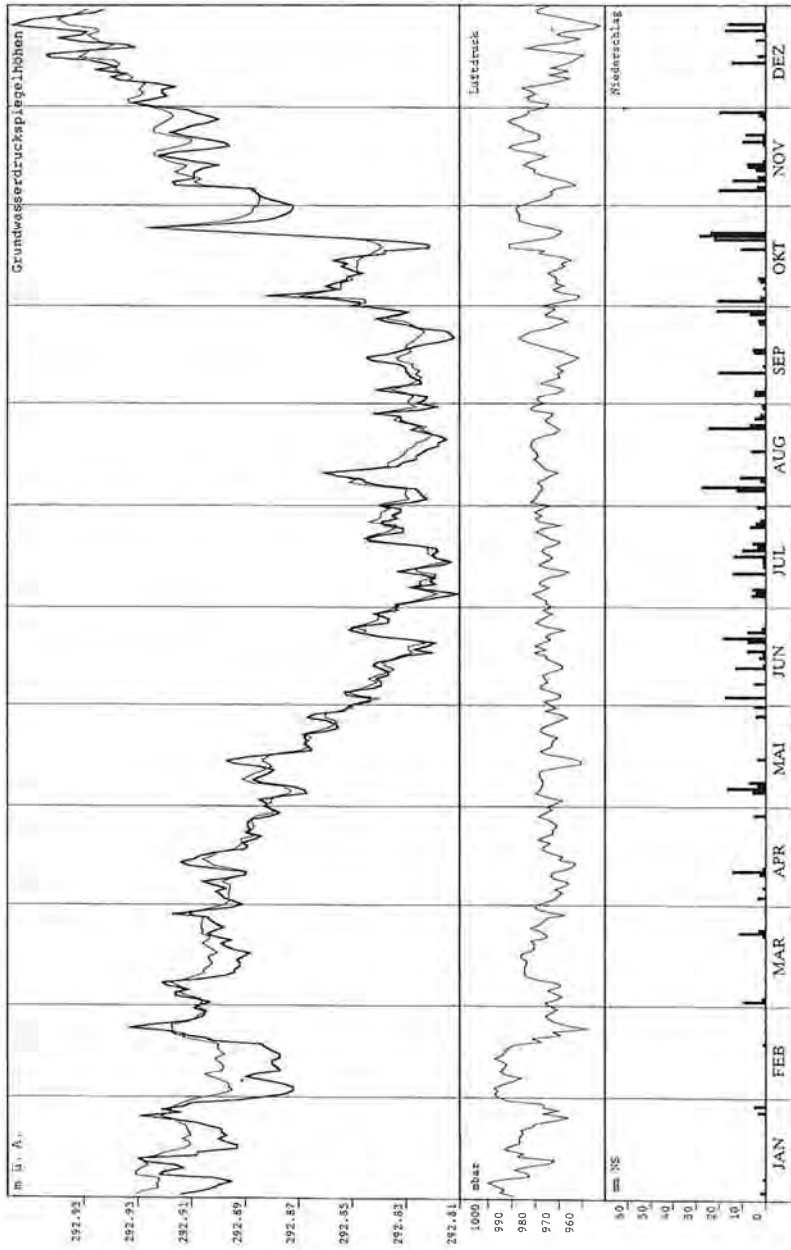


Fig. 3: Darstellung der gemessenen (dicke Linie) und der luftdruckkorrigierten (dünne Linie) Druckspiegelganglinien in der Bohrung Hainersdorf mit der Luftdruckganglinie der meteorologischen Station Graz-Flughafen und den Tagesniederschlägen der Station Großwilfersdorf für das Jahr 1993. Die Luftdruckwirksamkeit beträgt 10 %.

Presentation of the measured (fat line) and adjusted (fine line) piezometric level hydrographs of the well Hainersdorf with the barograph of the meteorological station Graz Airport and the daily precipitation of the station Großwilfersdorf for the year 1993. The barometric efficiency is 10 %.

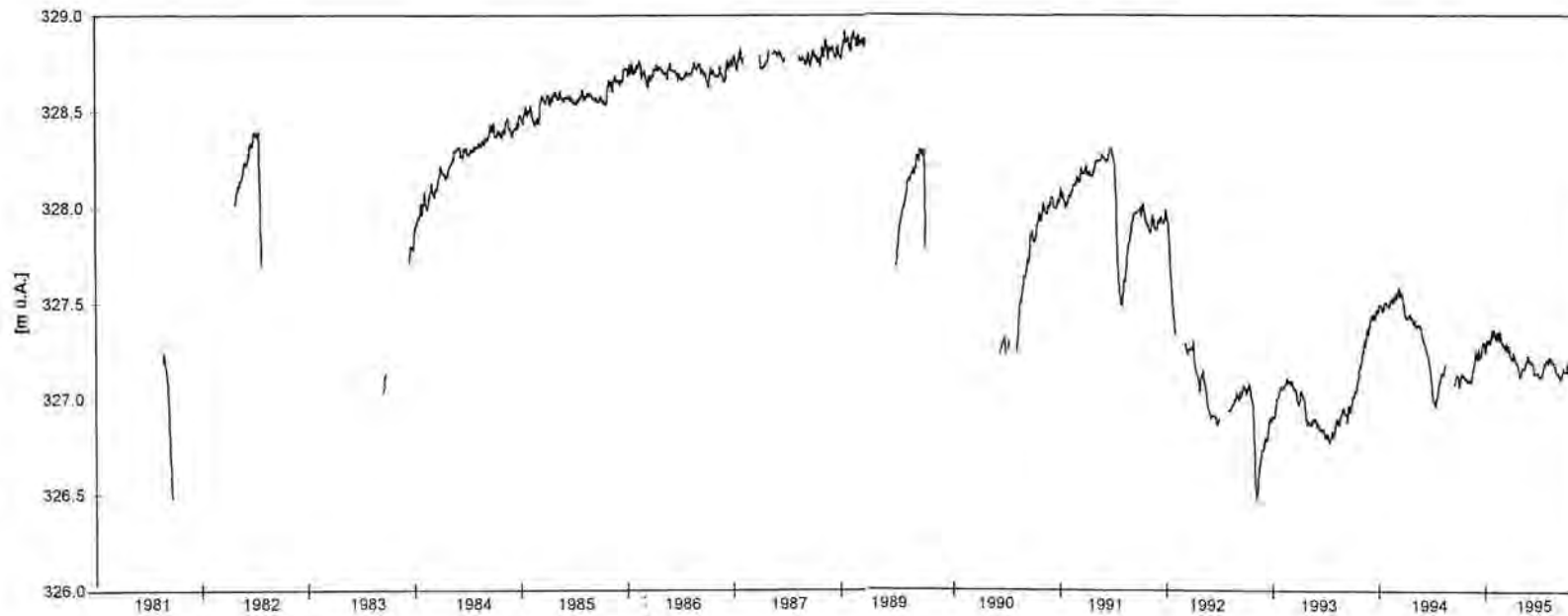


Fig. 4: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Kroisbach im Zeitraum von 1
Piezometric level hydrograph in observation well Kroisbach in the period bet and 1995.

- Niederschlagshöhe und deren zeitliche Verteilung: In den Sommermonaten verdunstet der Großteil des Niederschlages, während ein größerer prozentueller Anteil der Herbst- und Winterniederschläge zur Alimentation beiträgt, obwohl die Winterniederschläge in diesem Gebiet nur ca. 33 % der Sommerniederschläge betragen.
- Die die Bodenverdunstung beeinflussende Lufttemperatur und der Dampfdruck: Ab Ende Juli sinkt die Lufttemperatur und steigt die relative Luftfeuchte.
- Intensität der Vegetation: In den Sommermonaten verbraucht die Vegetation den größten Teil des Niederschlages, während der Bedarf ab Herbstbeginn minimal wird.
- Das Verdunstungsniveau sowie der den Einsickerungswiderstand und die Verzögerung beeinflussende Flurabstand des seichtliegenden Grundwassers.
- Wasserstand und Kolmationsgrad der Fließgewässer, die direkt in gespannte Aquifere einspeisen.

Diese Faktoren wurden im Laufe der Untersuchungen quantitativ nicht bestimmt, ihre Merkmale können aber an den Druckspiegelganglinien erkannt werden. Weiters können anthropogene Eingriffe wie Wasserentnahmen die Schwankungen beträchtlich beeinflussen. Die im Untersuchungsgebiet gelegenen Versorgungsbrunnen sind mit einigen Ausnahmen hauptsächlich nur in den Sommermonaten in Betrieb.

Die kurzfristigen Schwankungen, die im Zentimeterbereich liegen und einen Zeitraum von einigen Tagen aufweisen, werden von Luftdruckschwankungen hervorgerufen. Die langfristigen, jahreszeitlichen Schwankungen bewegen sich im Zentimeterbis Dezimeterbereich und weisen auf die hydrologischen Verhältnisse und die Aufnahmekapazität des Grundwasserleiters hin.

Die Analyse langfristiger Druckspiegelzeichnungen erlaubt es, wichtige Schlüsse über das Verhalten der gespannten Aquifere zu ziehen.

Feistritztal

Die Druckspiegelganglinie der Versuchsbohrung **Kroisbach** (Fig. 4) zeigt markant die typischen Auswirkungen von Pumpversuchen. Die Aufspiegelungsphase nach dem Pumpversuch vom Juli 1981 ($Q_{\max} = 5,3 \text{ l/s}$, $s_{\max} = 7,12 \text{ m}$) ist gut erkennbar. Die Ruhedruckspiegelhöhe vor dem Pumpversuch (327,88 m ü. A.) liegt um ca. 0,7 m tiefer als die spätere mittlere Druckspiegelhöhe nach der Aufspiegelungsphase. Ab Anfang 1988 ist die Ganglinie zwar lückenhaft, jedoch sind die eindeutige Druckspiegelsenkung und die wesentlich größeren Schwankungen im Vergleich zur vorhergehenden Periode unverkennbar. Der steil abfallende Ganglinienabschnitt im Juli und August 1981 paßt zeitlich mit dem Überlaufversuch in der Bohrung Großhartmannsdorf 2 (Entfernung ca. 3,2 km) zusammen. Der plötzliche Sprung an der Druckspiegelganglinie Mitte 1988 kann mit dem Überlaufversuch in der Bohrung Großhartmannsdorf 1 (Entfernung ca. 2,8 km) in Zusammenhang gebracht werden. Wie bereits vorher erwähnt, hängen die Horizonte dieser zwei Bohrungen hydraulisch zusammen. Die Inbetriebnahme der Bohrung Großhartmannsdorf 1 in der zweiten Hälfte von 1991 erscheint als ein Druckabfall von 0,8 m an der Ganglinie von Kroisbach. Angenommen, daß die Jahre 1985–1987 einen relativ ungestörten Zeitraum repräsentieren, beträgt die jährliche Schwankung ca. 0,20–0,25 m. Seit 1988 weist die Ganglinie wesentlich größere Jahresschwankungen auf (z. B. 1992 ca. 1,5 m). 1995 scheint sich die Druckspiegelhöhe im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren zu beruhigen, allerdings auf einem Niveau, welches ca. 1,5 m tiefer liegt als jenes 1986 und 1987.

Ein ausgeprägter jahreszeitlicher Rhythmus kommt an der Ganglinie der Bohrung **Obgrün V2** nicht zum Ausdruck (Fig. 5). Die jährlichen Tiefpunkte der Druckspiegelhöhe fallen in der Regel auf Anfang des Herbstes. Die Jahresschwankung beträgt

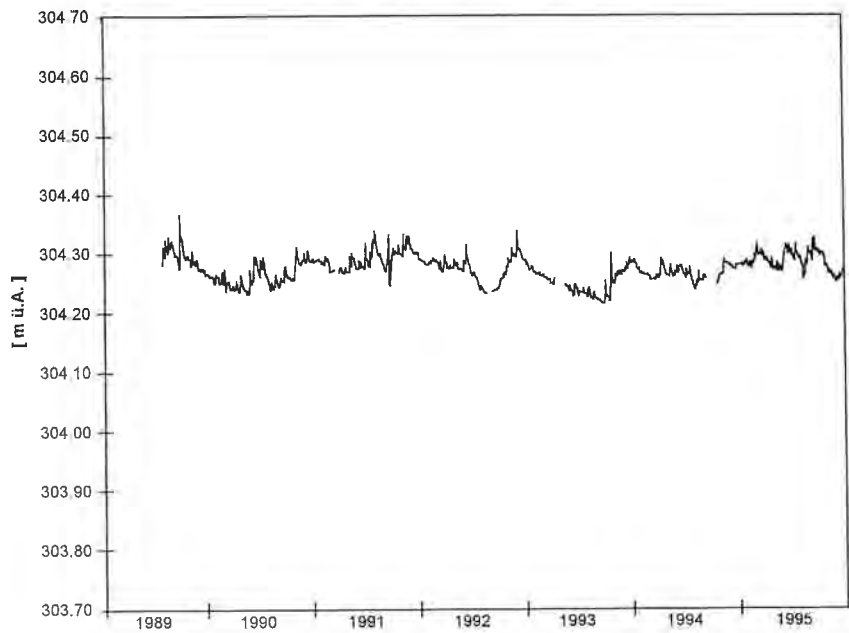


Fig. 5: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Obgrün V2 im Zeitraum von 1989–1995.
Piezometric level hydrograph in observation well Obgrün V2 in the period between 1989 and 1995.



Fig. 6: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Hainersdorf im Zeitraum von 1989–1995.
Piezometric level hydrograph in observation well Hainersdorf in the period between 1989 and 1995.

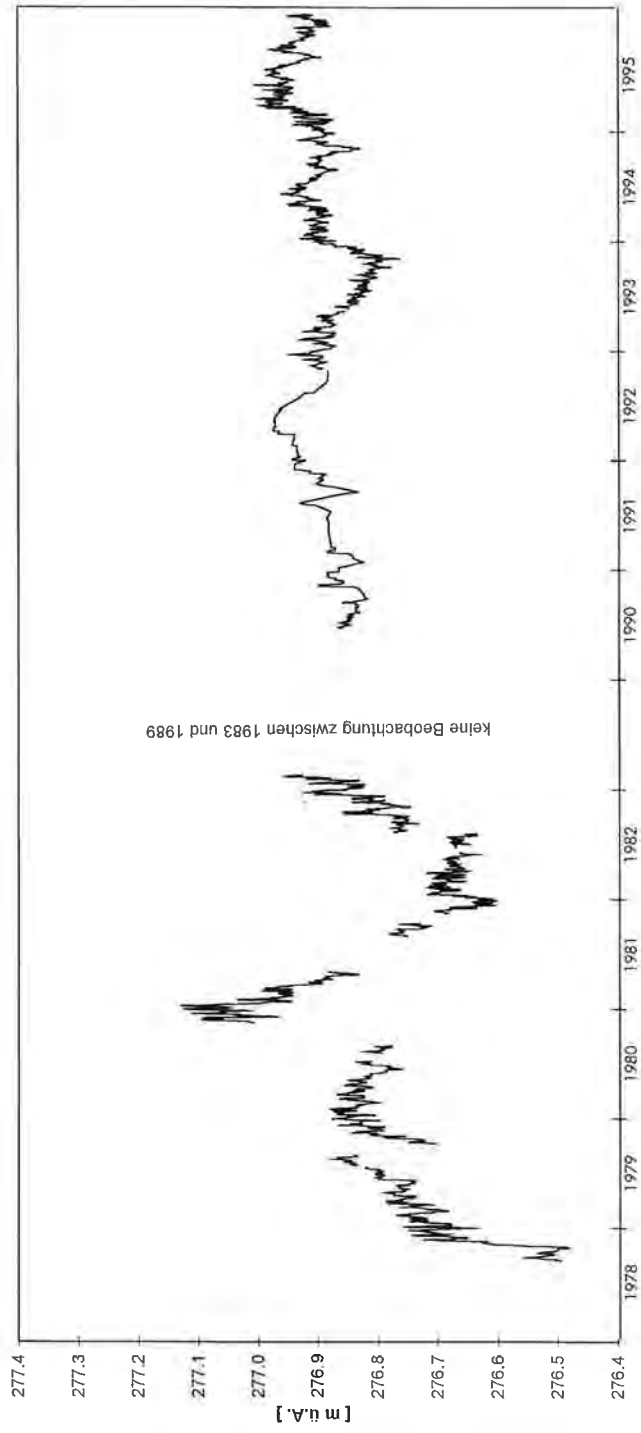


Fig. 7: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Jobst im Zeitraum von 1978–1983 und von 1990–1995.
Piezometric level hydrograph in observation well Jobst in the period of 1978–1983 and 1990–1995.

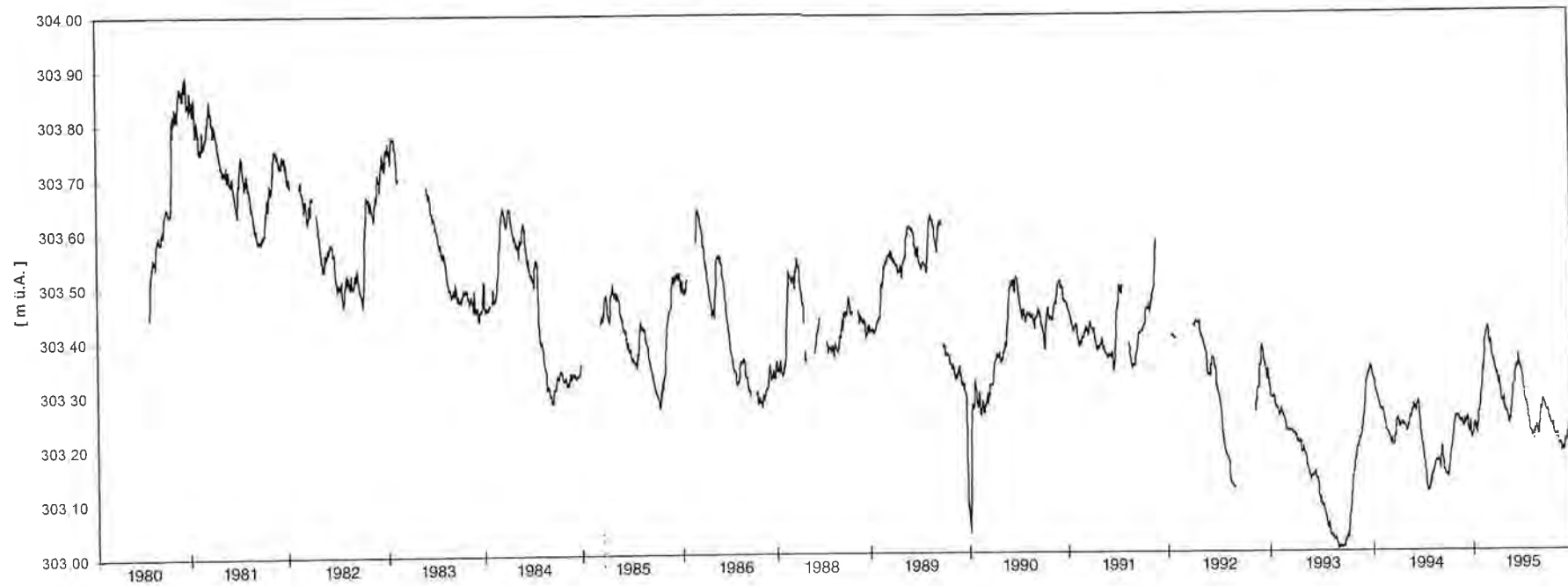


Fig. 8: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Geiseldorf im Zeitraum von 1980–1995.
Piezometric level hydrograph in observation well Geiseldorf in the period between 1980

etwa 0,10–0,12 m. Die mittlere Druckspiegelhöhe ist innerhalb der sechsjährigen Beobachtungsperiode konstant.

Die Ganglinie der **Hainersdorfer Bohrung** (Fig. 6) spiegelt einen relativ regelmäßigen Verlauf wider, wobei die Amplitude der Schwankungen $< 0,4$ m beträgt. Im Winterhalbjahr 1991/1992 ist ein erheblicher und lang anhaltender Anstieg der Druckspiegelhöhe im Vergleich zu den anderen Jahren zu beobachten.

Es ist schwierig, aufgrund der lückenhaften Ganglinie der Versuchsbohrung **Jobst** eindeutige Schlüsse zu ziehen (Fig. 7). Die Aufspiegelungsphase nach dem Pumpversuch ($Q_{\max} = 1,65$ l/s, $s_{\max} = 9,01$ m) im Juli 1978 ist bis Mitte 1979 zu verzeichnen. Die Beobachtung wurde von 1984 bis 1989 unterbrochen, was eine eindeutige Aussage über die langfristigen Druckspiegelschwankungen erschwert. Das mittlere Druckniveau änderte sich im wesentlichen aber nicht. Die aufgezeichneten Jahre werden durch einen unregelmäßigen Verlauf charakterisiert, wobei festzustellen ist, daß die Amplitude der Schwankungen in der Periode von 1978–1983 doppelt so groß ist (ca. 0,60 m) als jene in den letzten Jahren (ca. 0,25 m).

Safental

Die Versuchsbohrung **Geiseldorf** (Fig. 8) ist eine der am längsten beobachteten Grundwassermeßstellen. Seit der zweiten Hälfte der 80er Jahre kann eine gewisse Periodizität an der langjährigen Ganglinie entdeckt werden, wobei die Jahresamplitude etwa 0,35 m beträgt. Die Maxima treten im ersten Halbjahr, die Minima im zweiten auf.

Ab 1990 ist diese Periodizität nicht mehr zu beobachten, während die Ganglinie weiter sinkt und im September 1993 ihren bisherigen tiefsten Stand erreicht. Die sich über einen Zeitraum von 16 Jahren erstreckende Ganglinie läßt eine signifikante Druckspiegelabsenkung feststellen, welche von Anfang 1980 bis Ende 1995 etwa 0,5 m beträgt und somit wesentlich größer als die durchschnittliche Jahresschwankung ist.

Zu beobachten ist, abgesehen vom allgemeinen negativen Trend der Ganglinie, daß die langfristige Druckspiegelhöhenabsenkung nicht kontinuierlich ist. Einem Tiefpunkt um die Wende 1986/1987 folgt etwa zwei Jahre später ein Maximum, und anschließend sinkt die mittlere Druckspiegelhöhe wieder rapid ab. Während der Durchführung der Pumpversuche in den Bohrungen Dombachtal 1 und 2 konnte keine erkennbare Änderung des Ruhewasserspiegels in der Bohrung Geiseldorf festgestellt werden. Der Beginn der Wasserentnahme aus den Brunnen Dombachtal 1 und 2 (Entfernung ca. 1,5 km) macht sich an der langjährigen Ganglinie nicht bemerkbar. Den negativen Trend veranschaulicht auch Fig. 9. Die Ganglinien der Jahre 1981 und 1994 weisen einen ähnlichen Verlauf auf, die Druckspiegelhöhen von 1994 liegen jedoch ca. 0,5 m tiefer.

Der Aquifer in der Bohrung **Waltersdorf Nord** (Fig. 10) zeigt eine wesentlich schnellere Regeneration nach dem Pumpversuch ($Q_{\max} = 3,0$ l/s, $s_{\max} = 9,23$ m) im Sommer 1989 als jener in Kroisbach. Der langjährige Schwankungsbereich beträgt ca. 0,7 m. Ein eindeutiger Abfall der Druckspiegelhöhe um ca. 0,3 m ist ab Anfang 1991 zu beobachten, was eine mehrmonatige Verzögerung zum Beginn der Wasserentnahme in der Bohrung Leitersdorf 2 (Entfernung ca. 3,4 km) bedeutet und kann auf eine indirekte

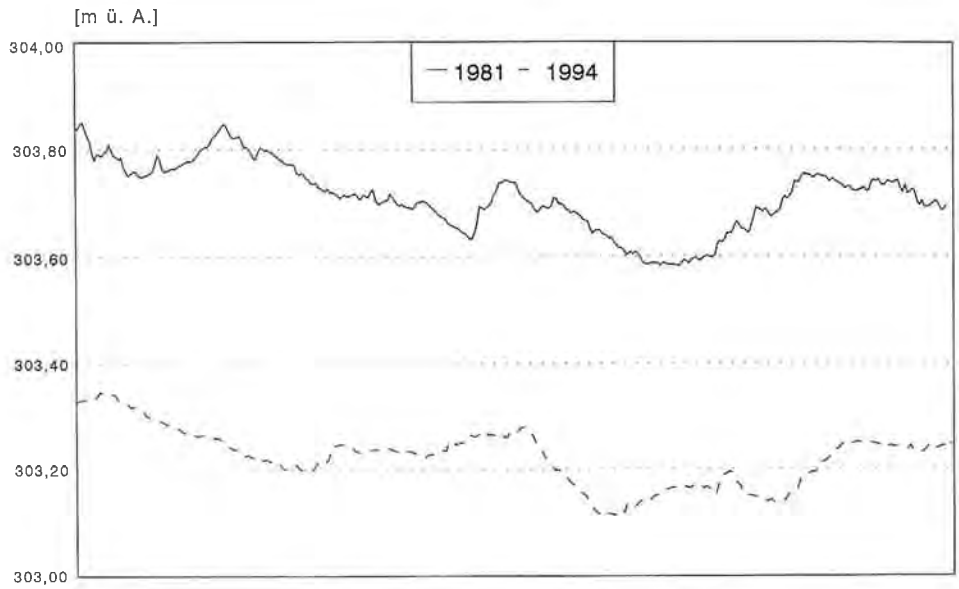


Fig. 9: Vergleich der Druckspiegelganglinien der Jahre 1981 und 1994 in der Versuchsbohrung Geiseldorf.
 Comparison between piezometric level hydrographs of the years 1981 and 1994 in observation well Geiseldorf.



Fig. 10: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Waltersdorf Nord im Zeitraum von 1988–1995.
 Piezometric level hydrograph in observation well Waltersdorf Nord in the period between 1988 and 1995.

hydraulische Verbindung hindeuten. Eindeutige jahreszeitliche Schwankungen können nicht festgestellt werden. Bis Ende 1995 erreichte die Druckspiegelhöhe wieder jenes Niveau, welches sich bereits nach der Aufspiegelung Ende 1990 einstellte.

Die Ganglinie der Versuchsbohrung **Waltersdorf Süd** läßt erkennen, daß sich der Aquifer nach dem Pumpversuch ($Q_{\max} = 1,7 \text{ l/s}$, $s_{\max} = 7,83 \text{ m}$) vom Herbst 1987 erst nach etwa einem Jahr gewissermaßen erholte, als im Herbst 1988 nochmals ein Pumpversuch ($Q_{\max} = 1,7 \text{ l/s}$, $s_{\max} = 9,66 \text{ m}$) in der Bohrung durchgeführt wurde (Fig. 11). Die zu Beginn des ersten Pumpversuches abgelesene Ruhedruckspiegelhöhe von 286,01 m ü. A. kommt wesentlich tiefer zu liegen als die spätere mittlere Druckspiegelhöhe von ca. 287,2 m ü. A., wo sich die Druckspiegelhöhe zu beruhigen scheint. Der Druckspiegelabfall Anfang 1992, dessen Ausmaß wegen einer Aufzeichnungslücke nicht erfaßt wurde, fällt mit dem Pumpversuch ($Q_{\max} = 4,5 \text{ l/s}$, $s_{\max} = 9,22 \text{ m}$) in der Bohrung Speilbrunn (Entfernung ca. 2 km) zusammen, jedoch weist die Ganglinie noch während des Pumpversuches einen Anstieg auf, was unter Annahme einer hydraulischen Verbindung schwer zu erklären ist. Die durchschnittliche Jahresschwankung erreicht kaum 0,20 m.

Die rasche Aufspiegelung nach dem Pumpversuch ($Q_{\max} = 4,0 \text{ l/s}$, $s_{\max} = 11,70 \text{ m}$) im August 1983 ist noch an der Ganglinie der Bohrung **Kaindorf 1** (Fig. 12) zu beobachten. Im Vergleich zur Ruhegrundwasserspiegelhöhe vor dem Pumpversuch (-3,84 m) ist auch hier ein Druckspiegelanstieg von ca. 0,25 m nach der Beendigung des Pumpversuches ersichtlich. Eine Absenkung der Druckspiegelhöhe trat bereits im Laufe des Jahres 1984 ein, nach dem Pumpversuch von Mai bis Juli 1985 stellte sich eine ca. 0,5 m tiefere Druckspiegelhöhe als früher ein. Die Jahresschwankung der Druckspiegelhöhe beträgt etwa 0,15 m.

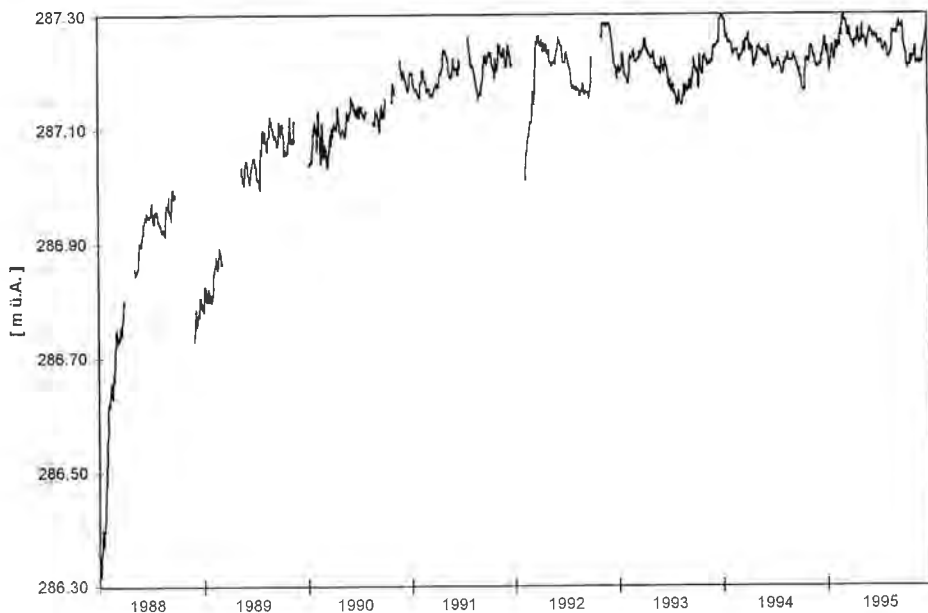


Fig. 11: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Waltersdorf Süd im Zeitraum von 1988–1995.
Piezometric level hydrograph in observation well Waltersdorf Süd in the period between 1988 and 1995.

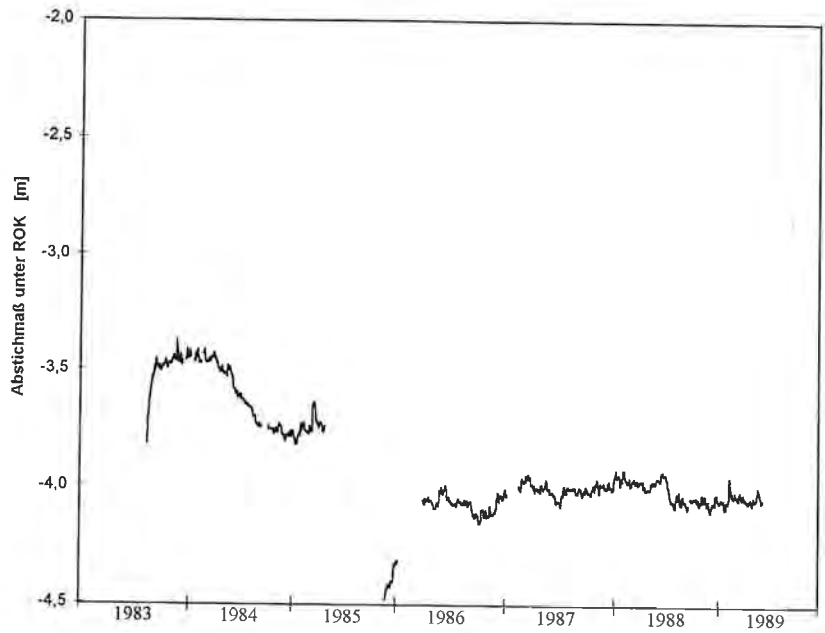


Fig. 12: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Kaindorf 1 im Zeitraum von 1983–1989.
Piezometric level hydrograph in observation well Kaindorf 1 in the period between 1983 and 1989.

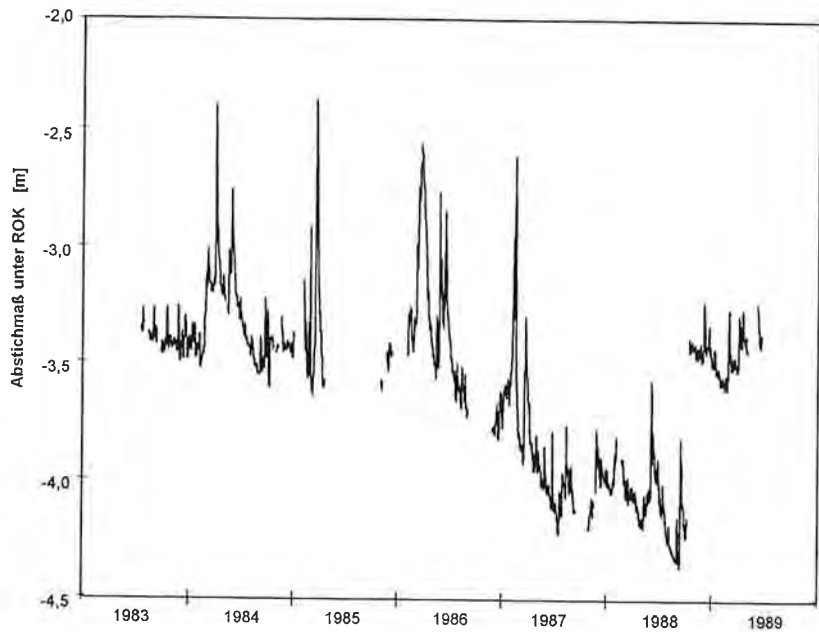


Fig. 13: Druckspiegelganglinie in der Versuchsbohrung Kaindorf 2 im Zeitraum von 1983–1989.
Piezometric level hydrograph in observation well Kaindorf 2 in the period between 1983 and 1989.

Die Ganglinie der Bohrung **Kaindorf 2** (Fig. 13) hingegen zeigt erhebliche Schwankungen bis zu 1,5 m im Jahr, die eine auffallende Übereinstimmung mit den im Pörlauer Saifenbach ablaufenden Hochwasserwellen haben. Die schnelle Reaktion der Druckspiegelhöhe auf die niederschlagsreichen Perioden ist auf die geringe Tiefe des Aquifers zurückzuführen. Die Auswirkung der Pumpversuche von 1983 ($Q_{\max} = 3,5$ l/s, $s_{\max} = 9,47$ m) und 1985 ($Q_{\max} = 3,95$ l/s, $s_{\max} = 4,91$ m) ist nicht zu bemerken. In den Jahren 1987 und 1988 machte sich eine Abnahme der Jahresschwankung und der mittleren Druckspiegelhöhe an der Ganglinie deutlich, wobei die letztere 1989 auf das Niveau der früheren Jahre aufstieg.

Lafnitztal

Aus Fig. 14 ist ersichtlich, daß die Ganglinien der Bohrungen **Neudau 1** und **2** einen Parallelverlauf aufweisen, obwohl der Horizont von Neudau 1 ca. 66 m tiefer liegt. Die jährliche Schwankung, die ca. 0,5 m beträgt, ist an beiden Bohrungen gleich. Die Ganglinien sind von kurzfristigen Schwankungen frei und haben einen ruhigen Verlauf. Ein ausgeprägter Jahresgang kommt an den Ganglinien zum Ausdruck, wobei das Minimum im Frühherbst, das Maximum im Jänner auftritt. Ein signifikanter Trend ist nicht festzustellen.

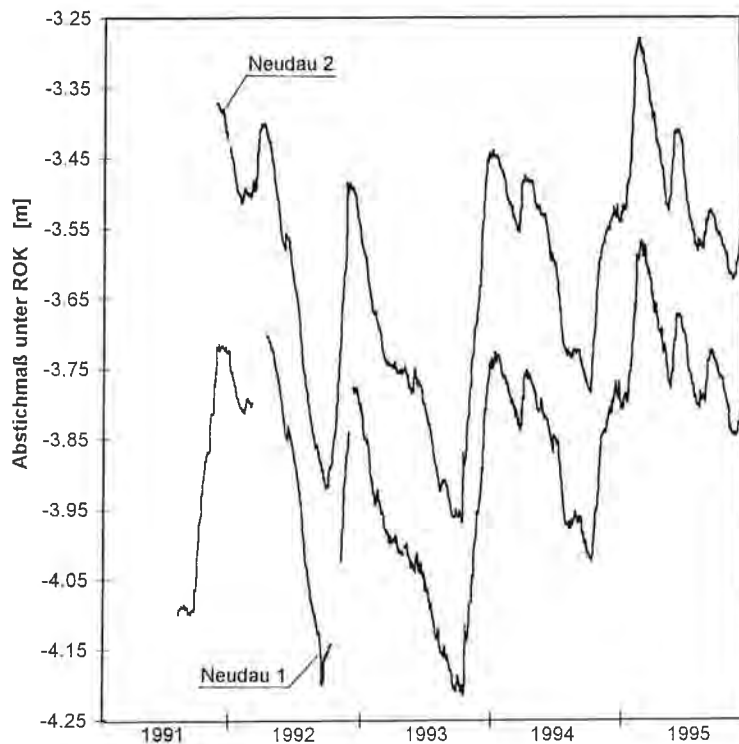


Fig. 14: Druckspiegelganglinien in den Versuchsbohrungen Neudau 1 und 2 im Zeitraum von 1991–1995. Piezometric level hydrographs in observation wells Neudau 1 and 2 in the period between 1983 and 1995.

5. Interaktion zwischen Oberflächengewässer und gespanntem Grundwasser

Die digital vorliegenden Abflußganglinien der Pegelstation Waltersdorf/Safenbach wurden auf Jahresübersichten ausgedrückt, um sie mit den Druckspiegelganglinien der Stationen im Safental vergleichen zu können. Bei der Versuchsbohrung Geiseldorf konnte eine relativ schnelle Reaktion des Druckspiegels auf ablaufende Hochwasserwellen im Safenbach festgestellt werden. Die Reaktion auf die Schneeschmelze, deren Prozeß u. a. von den Einstrahlungs- und Temperaturverhältnissen der Luft und des Bodens, der Windgeschwindigkeit, der Bewölkung, der Pflanzendecke und dem Wasserwert der Schneedecke abhängig ist, konnte aufgrund der zur Verfügung stehenden Beobachtungsjahre nicht eindeutig nachgewiesen werden, denn die Schneeschmelze wird in der Regel auch durch größere Niederschlagsereignisse überlagert.

Figur 15 zeigt den charakteristischen Verlauf der Jahresganglinien des Druckspiegels von Geiseldorf und des Abflusses des Safenbaches in Waltersdorf am Beispiel des Beobachtungsjahres 1987. Bei den Versuchsbohrungen Waltersdorf Nord und Süd konnte keinerlei Verbindung nachgewiesen werden.

Im Laufe der Untersuchungen wurde weiters eine eindeutige rasche Reaktion zwischen dem Abfluß im Pöllauer Saifenbach (Pegelstation Pöllau) und der Druckspiegelganglinie der 30 m tiefen Versuchsbohrung Kaindorf 2 (Fig. 16) beobachtet, während bei der 150 m tiefen Bohrung Kaindorf 1 dieselbe Auswirkung des Hochwasserabflusses auf die Druckspiegelhöhe nicht festgestellt werden konnte.

6. Ermittlung der Luftdruckwirksamkeiten

Die Elastizität artesischer Grundwasserleiter beschrieb bereits C. E. JACOB (1940) eingehend und stellte fest, daß gespannte Grundwasserleiter auf Luftdruckschwankungen mit Schwankungen der Druckspiegelhöhe in Abhängigkeit von ihrer Elastizität reagieren.

Als Maßzahl für die aufgrund von Luftdruckschwankungen auftretenden Druckspiegelschwankungen wird nach C. E. JACOB die Luftdruckwirksamkeit BE (Barometric Efficiency – barometrischer Koeffizient) definiert:

$$BE = \frac{\text{Schwankungen der Druckspiegelhöhe}}{\text{Schwankungen des Luftdrucks}} = \frac{dh \cdot \rho \cdot g}{d_{pL}} \quad [-]. \quad (1)$$

Die Abhängigkeit der Luftdruckwirksamkeit von den bodenmechanischen Kenngrößen kann aus dem Gleichgewicht eines gespannten Grundwasserleiters abgeleitet werden (R. J. M. DE WIEST, 1965) und führt zur Formel

$$BE = - \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{n \cdot \beta}} \quad [-], \quad (2)$$

wobei

α die Kompressibilität des Porengerüsts (m^2/N),

β die Kompressibilität des Wassers ($5 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$, bei $T = 10^\circ \text{ C}$ und $p = 1 \text{ bar}$) und n die Porosität (-)

ist.

Zur Bestimmung der Luftdruckwirksamkeit wurde die von W. E. CLARK (1967) erarbeitete Methode der modifizierten Doppelsummenanalyse verwendet. Bei der Bestimmung der Luftdruckwirksamkeit wurden Tagesmittelwerte der Druckspiegelschwankungen und der Luftdruckschwankungen zugrundegelegt, um Störeinflüsse mit Periodenlängen von einem halben und einem Tag zu eliminieren (F. ÜBERWIMMER, 1992).

Die für die einzelnen Jahre ermittelten Luftdruckwirksamkeiten sind in Tab. 3 zusammengefaßt. Die Tabellenwerte stellen rein numerisch ermittelte Größen dar. Hierbei ist zu beachten, daß sich für denselben Horizont für verschiedene Jahre geringfügig unterschiedliche Werte ergeben können. Für die Luftdruckkorrektur wird für alle Jahre ein Mittelwert der Luftdruckwirksamkeit herangezogen, der unter Beachtung aller vorliegenden Meßjahre und unter allfälliger Bewertung der gemessenen Ganglinien verschiedener Jahre bestimmt wird. Die Werte unter 3 % werden als nicht signifikant angesehen, da in diesem Falle die Luftdruckkorrektur bereits im meßtechnisch nicht erfaßbaren Millimeterbereich liegt.

Aufgrund der Tiefenabhängigkeit kann die Luftdruckwirksamkeit auch zur Zuordnung einzelner Meßstellen zu hydrogeologischen Horizonten verwendet werden. Bei einem Aufschluß verschiedener Horizonte mit einer einzigen Bohrung ist es auch möglich, über die Luftdruckwirksamkeit den hydraulischen Einfluß verschiedener aufgeschlossener und durch die Bohrung verbundener Horizonte festzustellen.

Bei der Bohrung Geiseldorf kann damit erkannt werden, daß das Wasser des tieferliegenden, stärker gespannten Horizontes innerhalb der ersten zwei Jahre nach Erstellung der Bohrung so stark in den seichteren, ebenfalls gespannten Horizont ausgeflossen ist, daß ab diesem Zeitpunkt der seichtliegende Horizont dominiert und die Luftdruckwirksamkeit von ca. 8 % praktisch auf 1–2 % zurückgegangen ist. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich bei der Bohrung Waltersdorf Nord, in welcher ebenfalls zwei Horizonte verfiltert sind.

Auffallend ist die relativ hohe Luftdruckwirksamkeit an der Bohrung Kaindorf 2. Dies läßt sich dadurch erklären, daß gerade die geringe Tiefe durch schnelle Überwindung der ungesättigten Zone eine rasche Einspeisung bei Niederschlagsereignissen ermöglicht, deren Wirkung sich auf den Druckspiegelanstieg infolge des Luftdruckabfalls vor dem Regen überlagert und die Ermittlung der Luftdruckwirksamkeit verfälscht.

Die ermittelten Luftdruckwirksamkeiten erlauben die Korrektur der gemessenen Druckspiegelganglinien bezogen auf den Normalwert des Luftdrucks nach der Formel:

$$h_{\text{W kor}} = h_{\text{W gem}} - BE(p_{\text{L gem}} - p_{\text{L norm}}). \quad (3)$$

Schichten in größerer Tiefe weisen bei geologisch ähnlicher Entstehung generell eine höhere Konsolidierung und damit einen wesentlich kleineren Kompressionskoeffizienten des Korngerüsts auf, was eine tiefenabhängige Zunahme der Luftdruckwirksamkeit bewirkt.

Dieser Grundsatz konnte allerdings für die untersuchten Grundwasserleiter wegen der gemischten Druckniveaus und der wenig ausgeprägten Luftdruckwirksamkeiten nicht nachgewiesen werden.

BOHRUNG GEISELDORF - 1987

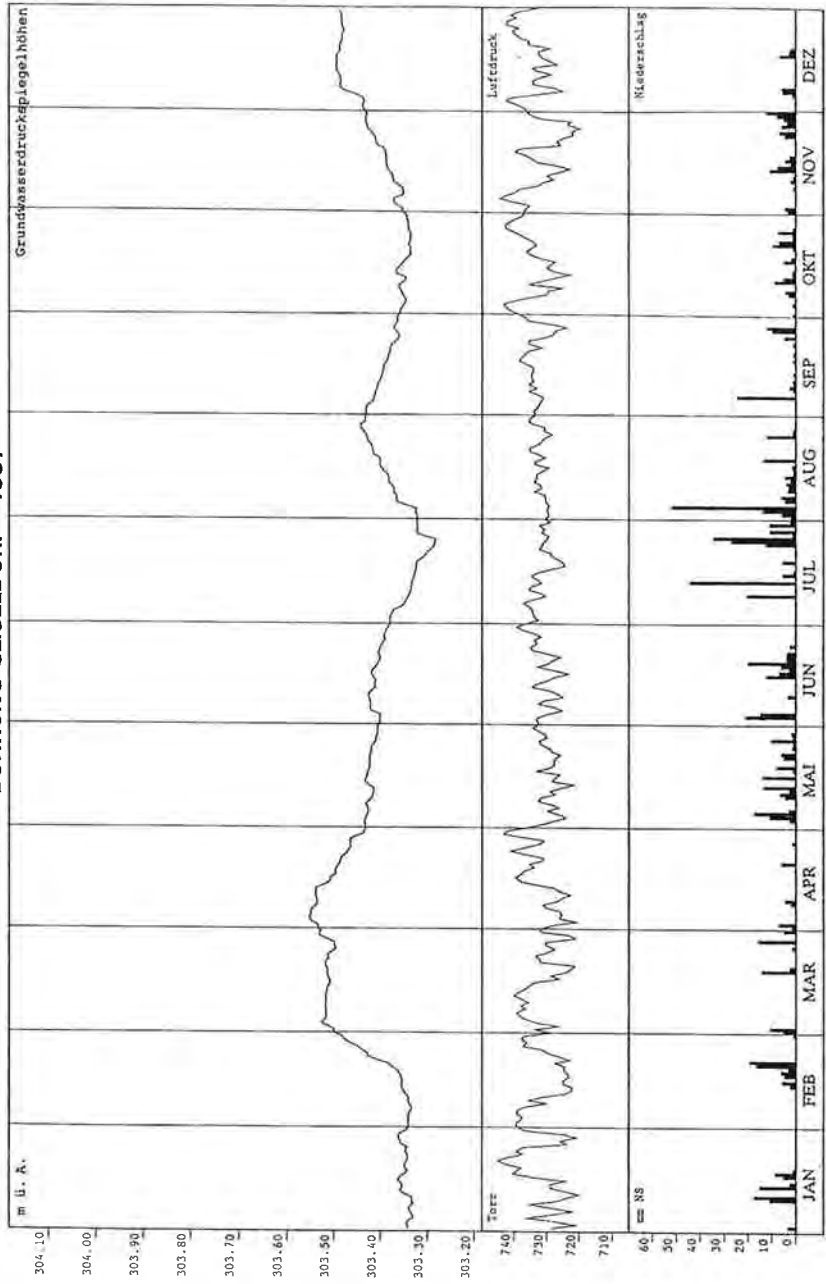


Fig. 15: Gegenüberstellung der Druckspiegelganglinie in der Bohrung Geiseldorf mit der Abflußganglinie des Pegels Waltersdorf am Beispiel des Jahres 1987. (Fortsetzung auf S. 117.)
 Comparison between the piezometric level hydrograph in well Geiseldorf and the run-off hydrograph at the gauge Waltersdorf for the year 1987. (Continuation p. 117.)

WALTERSDORF IN OSTSTEIERMARK

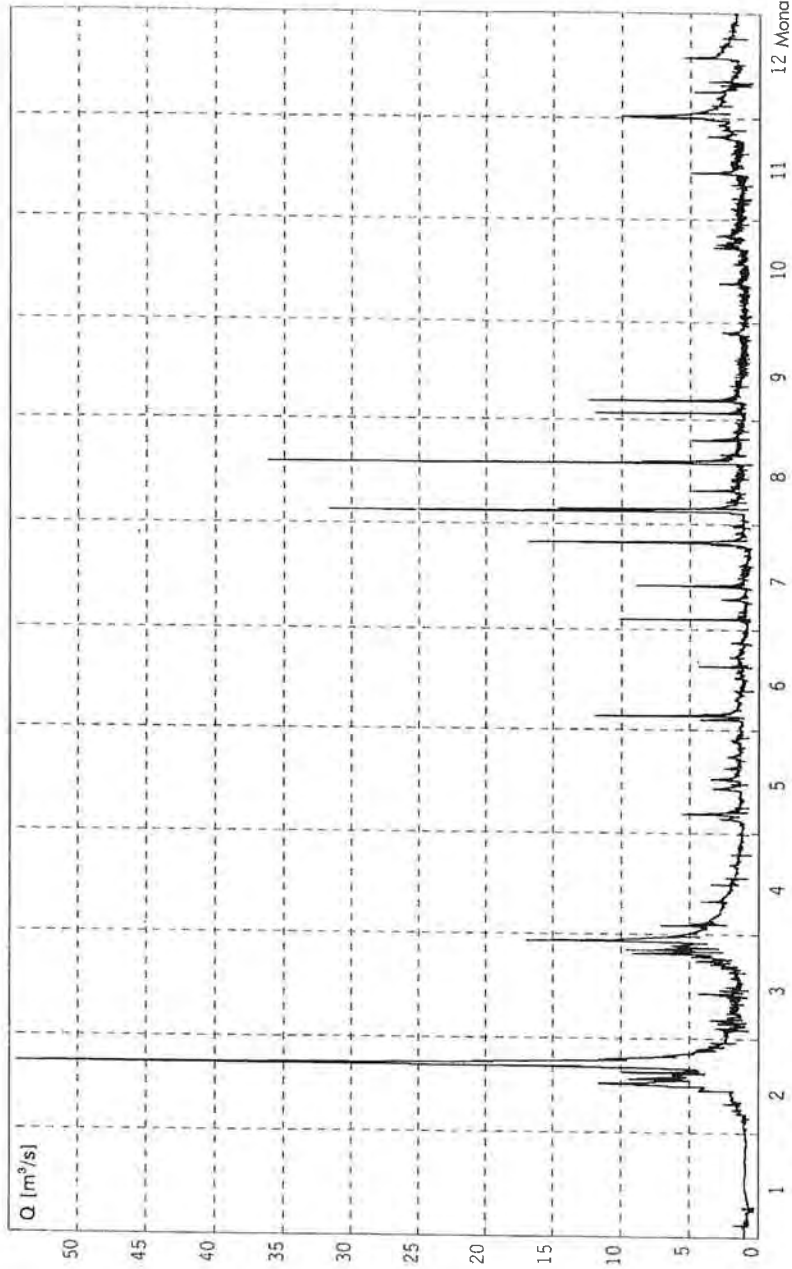
Pegel:

Gewässer:

SAFENBACH

$A_E = 343,4 \text{ km}^2$

Q - Jahresübersicht 1987



BOHRUNG KAINDORF 2 - 1984

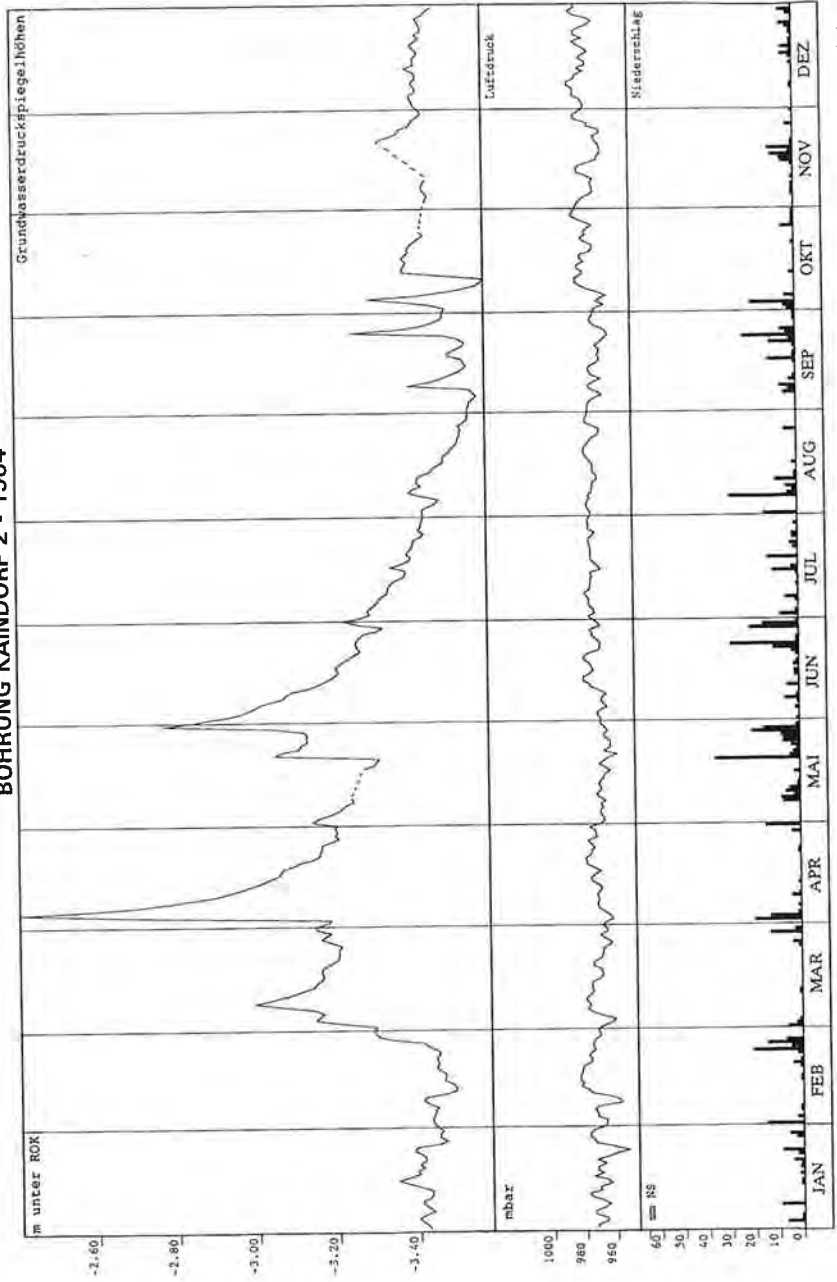
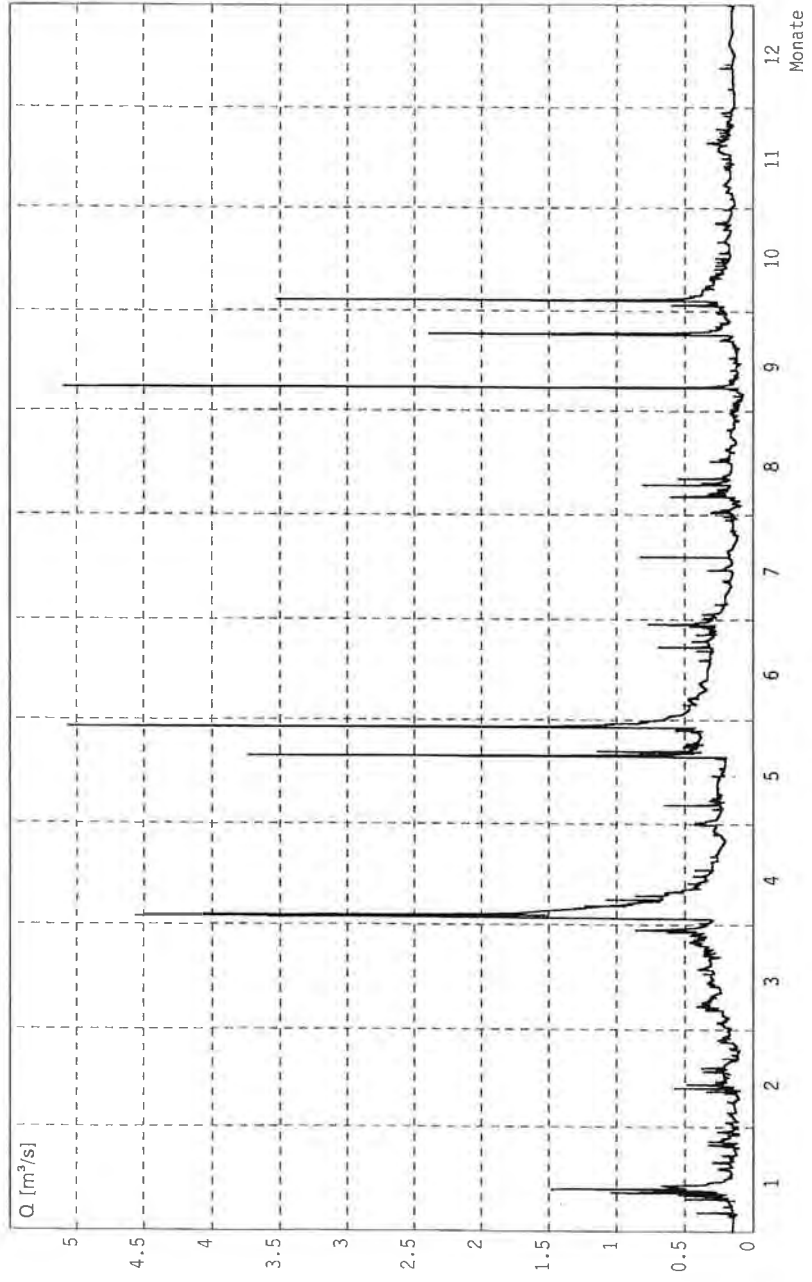


Fig. 16: Gegenüberstellung der Druckspiegelganglinie in der Bohrung Kaindorf 2 mit der Abflußganglinie des Pegels Pöllau am Beispiel des Jahres 1984. (Fortsetzung auf S. 119.)
 Comparison between the piezometric level hydrograph in well Kaindorf 2 and the run-off hydrograph at the gauge Pöllau for the year 1984. (Continuation p. 119.)

Pegel: **PÖLLAU**
Gewässer: **SAIFENBACH**
 $A_F = 57,5 \text{ km}^2$
Q - Jahresübersicht 1984



Tab. 3: Recherisch ermittelte Luftdruckeffizienzen der Aquifere. (- keine Beobachtung; [-] nicht auswertbares Beobachtungsjahr.) Ein Beobachtungsjahr wird als nicht auswertbar angesehen, wenn entweder wegen der lückenhaften Daten oder der nicht ausreichenden Anpassung der Ausgleichsgeraden an die Summenlinie keine signifikante Neigung der Geraden ermittelt werden kann. Der Mittelwert wird unter Beachtung aller vorliegenden Meßjahre und unter Bewertung der gemessenen Druckspiegelganglinien verschiedener Jahre bestimmt. Der Mittelwert der Luftdruckeffizienz der Bohrung Geiseldorf bezieht sich auf den unteren Horizont. Die Luftdruckeffizienzen der Bohrungen Waltersdorf Nord und Kaindorf 1 stellen gemischte Werte zweier Horizonte dar.

Calculated barometric efficiencies of the aquifers. (- no observation; [-] unevaluable observation year.) An observation year is not evaluable if no significant slope of straight lines can be determined either because of incomplete data or not adequate adaptation of the regression straight lines to the cumulative line. The mean value is determined by considering the available observation years and by the estimation of piezometric level hydrographs measured in different years. The mean value of the barometric efficiency of well Geiseldorf is referred to the lower horizon. The barometric efficiencies of wells Waltersdorf Nord and Kaindorf 1 show mixed values of two horizons.

| Bohrung | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | Mittelwert |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| Kroitsbach | - | - | - | [-] | [-] | 8,8 | 8,9 | 5,3 | 7,0 | [-] | [-] | [-] | [-] | 9,9 | 9,0 | 8,3 | 8,1 | 9,1 | 8 |
| Obgrün V2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | [-] | [-] | [-] | [-] | 1,2 | 1,7 | 2,3 | - |
| Hainersdorf | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | [-] | [-] | 5,6 | 10,2 | 11,7 | 10,9 | 13,1 | 10 |
| Jobst | 9,0 | 7,1 | 8,9 | [-] | [-] | [-] | - | - | - | - | - | - | [-] | [-] | [-] | 7,1 | 6,8 | 9,6 | 8 |
| Geiseldorf | - | - | 8,6 | 7,6 | 4,5 | 0,7 | 1,1 | 2,6 | 3,1 | 3,3 | 2,0 | 2,9 | 1,7 | 2,2 | 1,3 | 1,4 | 2,0 | 4,9 | (8) |
| Waltersdorf Nord | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 11,0 | 11,1 | 7,3 | 5,7 | 7,1 | 8,4 | 8,0 | 9 |
| Waltersdorf Süd | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6,6 | 4,3 | 6,9 | 3,3 | 5,3 | 3,3 | 1,6 | 2,8 | 5 |
| Kaindorf 1 | - | - | - | - | - | [-] | 9,7 | [-] | 6,4 | 4,6 | 2,7 | 5,6 | - | - | - | - | - | - | 6 |
| Kaindorf 2 | - | - | - | - | - | [-] | [-] | [-] | 17,2 | [-] | 18,3 | [-] | - | - | - | - | - | - | 18 |
| Neudau 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | [-] | [-] | 3,8 | 3,9 | 3,7 | 4 |
| Neudau 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | [-] | [-] | 2,4 | 1,3 | 3,0 | - |

7. Ermittlung der Speicherkoeffizienten

Da der spezifische Speicherkoeffizient und der Luftdruckwirksamkeit von denselben Bodenparametern, wie Kompressibilität des Korngerüstes und die des Wassers, abhängig sind, kann der spezifische Speicherkoeffizient in Kenntnis der bereits ermittelten Luftdruckwirksamkeit folgendermaßen bestimmt werden:

$$S_0 = \rho_w \cdot g \cdot n \cdot \beta \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{n \cdot \beta}\right) [1/m]. \quad (4)$$

Wird die Gl. (2) in Gl. (4) eingesetzt, führt sie zum Zusammenhang zwischen dem spezifischen Speicherkoeffizienten und der Luftdruckwirksamkeit

$$S_0 = \rho_w \cdot g \cdot n \cdot \beta \cdot \frac{1}{BE} [1/m]. \quad (5)$$

Wird $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und $\rho_w \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ angenommen, vereinfacht sich Gl. (5) zu

$$S_0 = 4,91 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot \frac{1}{BE} [1/m]. \quad (6)$$

Kann die Porosität n ermittelt oder abgeschätzt werden, läßt sich auch der spezifische Speicherkoeffizient S_0 leicht errechnen. Die Porosität der untersuchten Grundwasserleiter kann nach F. ÜBERWIMMER (1992) zwischen 0,15 und 0,20 angenommen werden. Der spezifische Speicherkoeffizient, multipliziert mit der Mächtigkeit, ergibt den die instationären Vorgänge charakterisierenden Speicherkoeffizienten S :

$$S = H \cdot S_0. \quad (7)$$

In der Praxis wird der Speicherkoeffizient direkt aus Pumpversuchen ermittelt. Da der stationäre Strömungszustand während der Pumpversuche in der Regel nicht erreicht wird, können bei der Auswertung, die auf dem Verfahren von C. V. THEIS (1935) basierenden „Geradlinienverfahren“ Anwendung finden (H.-R. LANGGUTH & R. VOIGT, 1980).

Der Speicherkoeffizient beruht definitionsgemäß auf der konstanten Porosität des Korngerüstes, welches sich bei Druckabsenkung infolge der Umstrukturierung des Korngerüstes ändern kann. Weiters setzt die Ermittlung des Speicherkoeffizienten eine konstante Entnahmemenge voraus.

Der Speicherkoeffizient kann näherungsweise nur nach dem Verfahren von V. T. CHOW (1952) berechnet werden. Die anderen Verfahren (in: G. P. KRUSEMANN & N. A. DE RIDDER, 1973) sind bei Kleinpumpversuchen für die Berechnung des Speicherkoeffizienten nicht geeignet, da die Zeit bestimmt werden muß, zu der sich in einem gewissen Abstand vom Brunnen der Einfluß der Absenkung auszuwirken beginnt. Hiefür wird die Ausgleichsgerade mit der Zeitachse geschnitten. Bei Kleinpumpversuchen kann als Abstand nur der Brunnenradius verwendet werden, da keine weiteren Brunnen oder Pegel vorliegen. Im Abstand des Brunnenradius tritt jedoch eine sofortige Beeinflussung der Druckspiegel auf, und durch Schnitt der Ausgleichsgeraden mit der Zeitachse ergeben sich damit zu große Werte für die Zeit t_0 (in der Größenordnung von Sekunden). Damit ergeben sich auch um einige Zehnerpotenzen zu große Speicherkoeffizienten. Die Anpassung der Ausgleichsgeraden an die Anfangswerte, um eine geringere Neigung der Ausgleichsgeraden und damit kleinere Werte für t_0 zu er-

halten, ist nicht zielführend, da sich damit physikalisch sinnlose, extrem kleine Zeiten für t_0 ergeben (V. VASVÁRI, 1990). Den gleichen Fehler weisen die aus den Pumpversuchsdaten ermittelten Speicherkoeffizienten der untersuchten Grundwasserleiter auf.

Eine Gegenüberstellung der aus den Pumpversuchsdaten und den Luftdruckwirksamkeiten berechneten Speicherkoeffizienten gibt Tab. 4 wieder.

Die nach zwei verschiedenen Methoden ermittelten Speicherkoeffizienten von Hainersdorf zeigen eine gute Übereinstimmung. Für die Bohrungen Obgrün V2 und Neudau 2 läßt sich wegen der nicht signifikanten Luftdruckwirksamkeit kein Speicherkoeffizient berechnen.

Tab. 4: Gegenüberstellung der ermittelten Speicherkoeffizienten.
Comparison of the calculated storage coefficients.

| Bohrung | Speicherkoeffizienten [-] | |
|------------------|---------------------------|----------------------------|
| | aus Pumpversuchsdaten | aus Luftdruckwirksamkeiten |
| Kroisbach | – | $4,6-6,1 \times 10^{-5}$ |
| Obgrün V2 | – | – |
| Hainersdorf | $2,0-2,5 \times 10^{-5}$ | $2,5-3,3 \times 10^{-5}$ |
| Jobst | – | $1,9-2,6 \times 10^{-5}$ |
| Geiseldorf | – | $6,4-8,6 \times 10^{-5}$ |
| Waltersdorf Nord | $1,9 \times 10^{-2}$ | $4,1-5,5 \times 10^{-5}$ |
| Waltersdorf Süd | $7,5 \times 10^{-6}$ | $6,5-8,6 \times 10^{-5}$ |
| Kaindorf 1 | – | $6,4-8,5 \times 10^{-5}$ |
| Kaindorf 2 | – | $4,2-5,6 \times 10^{-5}$ |
| Neudau 1 | – | $1,8-2,5 \times 10^{-5}$ |
| Neudau 2 | – | – |

Zusammenfassung

Zur Verarbeitung und Auswertung von an Schreibpegeln aufgezeichneten Druckspiegelganglinien wurde am Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie ein EDV-Programm entwickelt, mit dessen Hilfe die gemessenen Druckspiegelganglinien in digitaler Form erstellt, die Luftdruckwirksamkeit der Aquifere berechnet und anhand deren die luftdruckkorrigierten Druckspiegelganglinien ermittelt werden.

Aufgrund der Untersuchungen kann festgestellt werden, daß sich die jährliche Schwankung der untersuchten Druckspiegelganglinien in der zentralen Oststeiermark zwischen 0,1 und 1,5 m bewegt, wobei sich keine Tiefenabhängigkeit zeigt. Naturgemäß wirken sich starke Niederschlagsschwankungen vor allem in kleineren, vermutlich wenig ausgedehnten, seichten Stockwerken gespannten Grundwassers, wie z. B. bei Kaindorf 2, aus. Signifikante negative Trends weisen die Ganglinien der Bohrungen Kroisbach und Geiseldorf auf. Bei Kaindorf 1 und Waltersdorf Nord ist auch eine abrupte Absenkung zu bemerken, wobei sich die Druckspiegelhöhe in den letzten Jahren zu stabilisieren scheint.

Die Druckspiegelhöhen liegen im Feistritztal generell höher als diejenigen im Safental, wobei die Druckspiegelhöhe in beiden Tälern talabwärts abnimmt und sofern eine

hydraulische Verbindung zwischen den beiden Tälern besteht, das Grundwasser aus dem Feistritztal in Richtung Safental strömen kann.

Die in den vergangenen Jahrzehnten beobachtete Abnahme des Niederschlags kann nicht als Ursache für die Absenkung der Druckspiegelhöhen angesehen werden. Vielmehr kann diese Erscheinung auf eine Überbeanspruchung bestimmter Horizonte, die miteinander in hydraulischer Verbindung stehen, zurückgeführt werden.

Die Luftdruckwirksamkeiten der Aquifere liegen generell zwischen 5 und 10 %. Nur der seichtliegende Horizont von Kaindorf 2 weist einen wesentlich höheren Wert auf. Eine signifikante Tiefenabhängigkeit der Luftdruckwirksamkeit kann nicht festgestellt werden.

Die Ermittlung der Luftdruckwirksamkeit erlaubt weiters eine genauere Abschätzung des Speicherkoeffizienten, wie die aus den Pumpversuchsdaten erfolgen kann.

Bei denjenigen Horizonten, bei denen ein gewisser jährlicher Rhythmus zu beobachten ist, soll die direkte Einsickerung von der Oberfläche eine erhebliche Rolle spielen. Die jahreszeitliche Schwankung der Druckspiegelhöhe (z. B. Geiseldorf und Neudau 1 und 2) ist weiters ein Beweis dafür, daß die Aquifere Teile eines Zirkulationssystems sind, also nicht bloß Grundwasserspeicher, s. g. „Taschen“, darstellen, sondern ein durch die Vorgänge im Aussickerungsbereich bestimmtes Grundwassersystem. Die Einspeisungsgebiete der gespannten Aquifere in der Oststeiermark können direkt am Beckenrand oder im Beckeninneren entlang der Fließgewässer geortet werden, deren genaue Abgrenzung weiterer Untersuchung bedarf.

Literatur

- BERGMANN, H. & F. ÜBERWIMMER (1992): Die Untersuchung der gespannten Grundwässer im Raume Grafendorf-Seibersdorf (Oststeiermark).– Unveröff. Bericht im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung, Referat für wasserwirtschaftliche Planung, 59 S., Graz.
- BERGMANN, H., B. SACKL & V. VASVARI (1992): Einrichtung einer Datenbank für Hochwasserereignisse.– Sonderbericht der XVI. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen und hydrologisch-wasserwirtschaftliche Grundlagen, 240–245, Kelheim.
- BERGMANN, H., A. LETTOWSKY & F. ÜBERWIMMER (1993): Hydraulische Untersuchung der gespannten Grundwasservorkommen im Feistritz- und Safental/Oststeiermark.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Bd. 75, 1–78, Graz.
- BERNHART, L., E. FABIANI, E. KAUDERER, H. ZETINIGG & J. G. ZÖTL (1974): Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfstand 1973).– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Bd. 29, 1–194, Graz.
- CHOW, V. T. (1952): On the determination of transmissivity and storage coefficients from pumping test data.– Trans. Am. Geophys. Union., Vol. 33, 397–404, Washington.
- CLARK, W. E. (1967): Computing the barometric efficiency of a well.– J. Hydraul. Div., 93, HY4, 93–98, Proc. Am. Soc. Civ. Eng., New York.
- DE WIEST, R. J. M. (1965): Geohydrology.– 366 S., New York/London/Sydney (John Wiley & Sons, Inc.).
- GOLDBRUNNER, J. E., M. EISNER & Ch. KRIEGL (1994): Untersuchungen artesischer Wässer beiderseits der burgenländisch-steirischen Landesgrenze.– Unveröff. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Forst- und Landwirtschaft, des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung und des Amtes der Burgenländischen Landesregierung, 92 S.
- JACOB, C. E. (1940): On the Flow of Water in an Elastic Artesian Aquifer.– Transactions Am. Geophys. Union, Vol. 21, 574–586, Washington.
- KAISER, Ch. (1983): Arteser Kaindorf. Auswertung der Pumpversuche, Bohrung I, Bohrung II.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 11 S., Graz.

- KAISER, Ch. (1985): Pumpversuch Kaindorf/Am Hof. Bohrung I – 71 m tief, Bohrung II – 30m tief.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 21 S., Graz.
- KAISER, Ch. (1987): Auswertung des Pumpversuches Waltersdorf Süd.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 3 S., 9 Beil., Graz.
- KAISER, Ch. (1988): Auswertung des Pumpversuches Waltersdorf Süd.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 3 S., 3 Beil., Graz.
- KAISER, Ch. (1989): Bohrung Waltersdorf. Pumpversuch.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 4 S., 9 Beil., Graz.
- KAISER, Ch. (1991): Bohrung Neudau. Pumpversuch.– Unveröff. Gutachten, Referat für Grund- und Quellwasser, 8 S., 13 Beil., Graz.
- KRUSEMANN, G. P. & N. A. DE RIDDER (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten.– 191 S., Köln-Braunsfeld (Verlagsgesellschaft Rudolf Müller).
- LANGGUTH, H.-R. & R. VOIGT (1980): Hydrogeologische Methoden.– 486 S., Berlin/Heidelberg/New York (Springer Verlag).
- NOVAK, J. (1978): Versuchsbohrung Jobst. Pumpversuch.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 4 S., 3 Beil., Graz.
- NOVAK, J. (1979): Pumpversuch Hainersdorf.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 2 S., 5 Beil., Graz.
- NOVAK, J. (1980): Versuchsbohrung Geiseldorf. Pumpversuch.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 4 S., 2 Beil., Graz.
- NOVAK, J. (1981): Arteser Kroisbach. Pumpversuch.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 2 S., 2 Beil., Graz.
- NOVAK, J. (1984): Arteser Hainersdorf. Auswertung der Pumpversuche 1979 und 1984.– Unveröff. Gutachten, Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, 14 S., Graz.
- RONNER, F. & J. SCHMIED (1968): Raubbau an artesischem Wasser in der Oststeiermark.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 20, 63–80, Graz.
- THEIS, C. V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.– Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 16, 519–524, Washington.
- ÜBERWIMMER, F. (1992): Untersuchung der Ressourcen gespannter Grundwassersysteme mit hydraulischen und hydrologischen Modellen.– Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft der TU Graz, H. 3, Graz.
- VASVARI, V. (1990): Computerunterstützte Auswertung von Kleinpumpversuchen in gespannten Grundwasserleitern.– Unveröff. Diplomarbeit, TU Graz, 91 S., Graz.
- ZETINIGG, H. (1982): Die artesischen Brunnen im Steirischen Becken.– Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, H. 43, Graz.
- ZOJER, H. (1972): Untersuchungen zur Frage des Wasserverlustes an der mittleren und unteren Feistritz.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 24, 11–45, Graz.
- ZOJER, H. (1981): Untersuchungen artesischer Wässer im zentralen Steirischen Becken (Großwildersdorf–Blumau).– Festschrift Josef G. Zötl, 159–172, Graz.
- ZOJER, H. (1987): Gespannte Grundwässer der pannonen Schichtfolge im unteren Feistritz- und Safental.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Bd. 68, 3–129, Graz.
- ZÖTL, J. G. (1983): Tiefengrundwässer im Oststeirischen Becken (Österreich).– Z. dt. geol. Ges., 134, 857–870, Hannover.

Summary

In order to process on and evaluate the piezometric level hydrographs recorded on a water-level recorder, a computer program has been developed by the Institute for Hydromechanics, Hydraulics and Hydrology. This software converts the piezometric level hydrographs into a digital form, it calculates the barometric efficiency of the aquifers, and with the help of all the above mentioned investigations the piezometric level hydrographs adjusted to the atmospheric pressure can be determined.

The result from the present investigation revealed that the annual fluctuation of the investigated piezometric level hydrographs in the central Eastern Styria moves between 0.1 and 1.5 m and no depth

dependence could be found. Strong fluctuations of rainfalls have an impact on most of all smaller shallow layers of confined groundwater, for example Kaindorf 2. The hydrographs of the wells in Kroisbach and Geiseldorf have significant negative trends. In Kaindorf 1 and Waltersdorf Nord an abrupt lowering of piezometric level has been observed, although it seems to have stabilized over the last few years.

The piezometric levels lay higher in Feistritz Valley than in Safen Valley in general and decrease towards the lower parts of the valleys. Provided there is a hydraulic connection between the two valleys, the groundwater from Feistritz Valley can flow towards Safen Valley.

The decrease in rainfall observed in the last few decades can not be regarded as a reason for the lowering of piezometric levels. This phenomenon could rather be explained by the excessive exploitation of certain horizons, being in hydraulic connection with each other.

The barometric efficiency of the aquifers are between 5 and 10 %. Only the shallow horizon in Kaindorf 2 shows a considerable higher value. The barometric efficiency is not in a significant dependence of depth.

The investigations of the barometric efficiency help us to calculate more precisely the storage coefficient, using the data of the pumping tests.

At horizons, where a certain annual rhythm can be observed, a direct infiltrate from the surface should play an important role. The seasonal fluctuation of the piezometric level is another proof of the fact that the aquifers are part of a circulations system, in other words, it is not just a groundwater reservoir, a so called "pocket", but a groundwater system depending on the processes in the discharge area. The alimentation areas of confined aquifers in East-Styrian basin originate from the east, along the rims of the basin, and along the water course of the rivers, but a precise definition needs additional investigations.

Dank

Für die Überlassung der in dieser Arbeit verwendeten umfangreichen Daten danke ich Herrn OBR. Univ.-Doz. Dr. H. ZETINIGG, dem Leiter des Referates für wirtschaftliche Planung beim Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Mein Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. H. ZOJER und Univ.-Prof. DDr. H. BERGMANN für ihre Diskussionsbereitschaft und viele wertvolle Ratschläge. Danken möchte ich weiters Herrn cand.-ing. A. ARCHIMANDRITIS für die EDV-mäßige Verarbeitung der Druckspiegelmessungen.