

**BERICHTE**  
**der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung**

**Band 68**

**Beiträge zur**  
**Kenntnis der artesischen Wässer**  
**im Steirischen Becken**

von

**H. Zojer und H. Zetinigg**

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion**  
**Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung**  
**Graz 1987**



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1) H. Zojer      Gespannte Grundwässer der pannonen Schichtfolge im unteren Feistritz- und Safental	3
2) H. Zetinigg    Der Schutz artesischer Grundwässer am Beispiel des Steirischen Beckens	131
3) Verzeichnis der bisher erschienenen Bände "Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung"	183



GESPANNTE GRUNDWÄSSER DER PANNONEN SCHICHTFOLGE

IM UNTEREN FEISTRITZ- UND SAFENTAL

von

H. Zojer



Inhalt

Einleitung

1) Geologischer Hintergrund

1.1) Schichtfolge im unteren und mittleren Miozän

1.2) Pannone Schichtfolge

1.2.1) Beckenentwicklung

1.2.2) Ausbildung und Verbreitung von Grundwasserleitern

1.3) Entwicklung von Talsystemen

2) Aufschlüsse artesischer Wässer

2.1) Versuchs- und Aufschlußbohrungen

2.2) Aufschlüsse durch Schußbohrungen der Rohöl-AG

2.3) Artesische Hausbrunnen und deren Verbreitung

2.4) Artesischer Horizont von Obgrün

2.4.1) Lage der artesischen Bohrungen

2.4.2) Hinweise auf das Einzugsgebiet

2.5) Artesischer Horizont von Großwilfersdorf - Blumau /

2.5.1) Talaufbau im Bereich von Großwilfersdorf

2.5.2) Artesische Brunnen von Blumau

2.5.3) Verbreitung des Horizontes

2.5.4) Hinweise auf das Infiltrationsgebiet des Blumau Aquifers

3) Bohrlochmessungen

3.1) Messungen im offenen Bohrloch

3.2) Messungen der Grundwasserbewegung bei den Bohrungen in Obgrün durch die Einloch - Verdünnungsmethode

4) Druckspiegelmessungen

4.1) Aquifer von Obgrün

- 4.1.1) Oberflächen- und seichtliegendes ungespanntes Talgrundwasser
- 4.1.2) Artesische Bohrungen V 1 und V 2
- 4.2) Aquifer von Blumau
  - 4.2.1) Beweissicherungsmessungen des Druckspiegels im Zuge der Abteufung der Versuchsbohrung Blumau
  - 4.2.2) Beispiele für den Vergleich von Druckspiegeländerungen in den Versuchsbohrungen
  - 4.2.3) Übersicht der Langzeitmessungen
- 5) Chemische Beschaffenheit der gespannten Grundwässer
  - 5.1) Hydrochemische Übersicht
  - 5.2) Versuchsbohrungen der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung im unteren Feistritztal
  - 5.3) Gespanntes Grundwasser von Blumau
- 6) Anwendung der Umweltisotope
  - 6.1) Methodische Voraussetzungen
  - 6.2) Übersicht des Isotopengehaltes in Grundwässern pannoner Aquifere
    - 6.2.1) Tritium
    - 6.2.2) Stabile Isotope
  - 6.3) Aquifer von Blumau
  - 6.4) Identifizierung von Paläowässern aus Deuterium-, Sauerstoff-18-, Kohlenstoff-13- und Kohlenstoff-14-Gehalten
  - 6.5) Anwendung nichtkonventioneller Umweltisotope
    - 6.5.1) Argon-39 und Krypton-85
    - 6.5.2) Uran-234/238 Disequilibrium
    - 6.5.3) Silicium-32
    - 6.5.4) Radium-226, Radon-222 und Helium-4
- 7) Fließbewegung des gespannten Grundwassers

Literatur



## EINLEITUNG

Um dem Titel der vorliegenden Arbeit gerecht zu werden, sind vor allem zwei Begriffe einer besonderen Betrachtung zu unterziehen. Zwar wird der Ausdruck "gespanntes Grundwasser" durch die ÖNORM B 2400 hinlänglich genau definiert, doch ist dem Terminus "artesisch gespanntes Grundwasser" im Laufe der Zeit eine Reihe von Deutungen widerfahren, auch die ÖNORM konnte keine eindeutige Klärung geben. Zweifellos ist das "gespannte Grundwasser" als Sammelbegriff für alle unter Druck stehenden Grundwässer zu verstehen, bei der Definition des "artesisch gespannten Grundwassers" sollte man jedoch von der jeweiligen Fragestellung ausgehen.

Der zweite Begriff, die pannonische Schichtfolge, ist innerhalb des Steirischen Beckens sicher mit einer räumlichen Einschränkung versehen. Da jedoch im zentralen Teil, im Fürstenfelder Becken, die obersten tertiären Sedimentlagen ohnehin dem Pannon angehören, werden dadurch keine Horizonte ausgeschlossen, die der Trinkwasserversorgung dienen. Es sollte mit dieser Diktion lediglich dokumentiert werden, daß in der Oststeiermark auch außerhalb pannonischer Ablagerungen noch gespannte Grundwässer gelagert sind.

Ziel dieser vorliegenden Arbeit ist es, umfangreiches Material zu sichten und daraus methodisch aufbereitete Schlüsse zu ziehen. Dazu gehören vor allem Berichte und Aufzeichnungen, die von J.G. ZÖTL und dem Verfasser im Wege der "Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz" zusammengestellt wurden, sowie die Unterlagen des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung (H. ZETINIGG). Die zum Großteil publizierten Isotopendaten stammen ausschließlich von den Labors der IAEA Wien (B.R. PAYNE) und des Institutes für Radiohydrometrie München (H. MOSER).

## 1. GEOLOGISCHER HINTERGRUND

Obwohl die pannone Schichtfolge nur den obersten Teil der Auffüllung des Steirischen Beckens aufbaut, lagert in ihr eine Reihe gespannter Grundwasserhorizonte. Um die Genese dieser Wässer zu klären, ist es aber notwendig, Einblick in die gesamte tertiäre Schichtfolge zu erlangen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Kenntnis der Ablagerungsdynamik im Wechselspiel der Hebung des Beckenrandes mit der Absenkung des Beckeninneren.

### 1.1. Schichtfolge im unteren und mittleren Miozän

Als Tertiärbasis ist der vorneogene Beckenuntergrund zu verstehen. Er ist innerhalb des Steirischen Randgebirgsbogens gegen SE geöffnet und durch Grundgebirgsaufbrüche untergliedert, die örtlich an der Oberfläche anstehen können. Die Lockersedimente des Tertiärs transgredierte über metamorphe Gesteine des Randgebirges oder paläozoische Karbonatgesteine und Schiefer, wobei das Paläozoikum in der Nähe von Graz, im Sausal und in der Südburgenländischen Schwelle bei St. Anna am Aigen obertägig aufgeschlossen ist.

Anhaltspunkte über die petrographische Zusammensetzung des präneogenen Untergrundes bieten Auswürflinge oststeirischer Vulkane oder - besser noch - Tiefbohrungen im Zuge der Prospektion nach Kohlenwasserstoffen. Aufgrund solcher Tiefenaufschlüsse glaubt K. KOLLMANN (1980), daß paläozoische Schichten im Untergrund weit verbreitet sind (Fig. 1).

Im nördlichen Abschnitt des Beckens ist das Paläozoikum vorwiegend karbonatisch ausgebildet: Devon-Bänderkalke

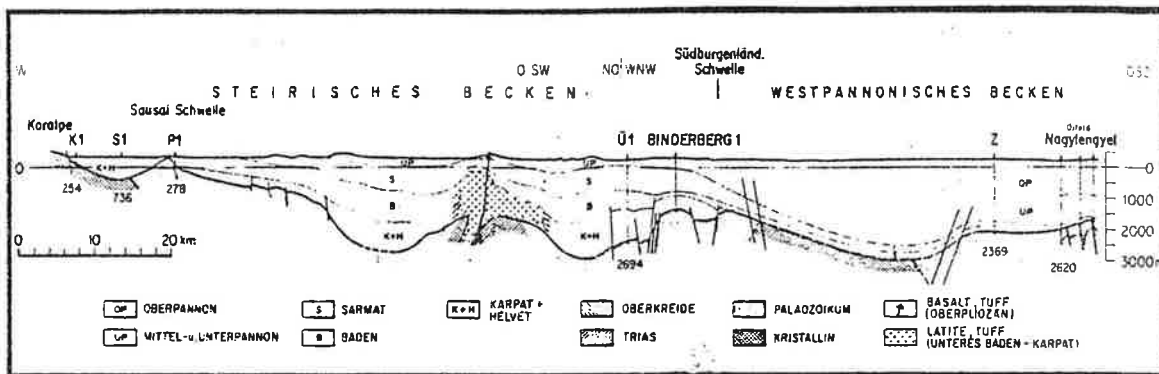


Fig. 1:  
Geologisches Profil durch das Steirische und  
Westpannonische Becken (aus K. KOLLMANN, 1980)

von Übersbach 1, Dolomite des Devons von Walkersdorf 1, Waltersdorf 1, Blumau 1a und Fürstenfeld Thermal 1. Im Bereich von Bruchstrukturen können auch Phyllite angefahren werden (Blumau 1). Stärker verbreitet sind diese Gesteine im S und SE: Perbersdorf 1, Binderberg 1, Litzelsdorf 1. Weiter im E sind durch ältere Bohrungen (Harnisch, Moschen-dorf) wiederum Dolomite aufgeschlossen, deren tektonische Stellung allerdings noch nicht endgültig geklärt ist. Mesozoikum in Form triadischer Dolomite wurde nur in der Bohrung Radkersburg 1 erreicht.

Am Beginn des Tertiärs wurde durch die mediterrane Geosynklinale ein Meeresarm abgetrennt (H. FLÜGEL & H. HERITSCH, 1968), der im Ottnang (Helvet) in einzelne Becken zerfiel, u.a. auch in das Steirische Becken. Dieses wurde im SE durch eine SW-NE verlaufende Hochzone (Südburgenländische Schwelle) vom pannonen Becken abgegrenzt. Die Sausal-schwelle untergliedert das Gesamtbecken in einen west- und einen oststeirischen Abschnitt. In der Folge bildeten sich Teiltröge als Gnaser, Fehringner und Fürstenfelder Teilbecken, deren Entstehung im Zusammenhang mit der miozänen und pliozänen Tektonik und Sedimentation zu sehen ist.

Die Mächtigkeiten der einzelnen Schichtglieder sind in Fig. 2 dargestellt.

Verfestigte gröberklastische Sedimente, die unter Festlandbedingungen eingeschüttet wurden, stammen aus dem Ott nang und sind nur in den untersten Bereichen des Beckens erhalten geblieben.

M I O Z Ä N	SARMAT	Ober- und Mittel-		Colithischer Kalksandstein Tonmergel, Sande, Braunkohle "Karinthischer Schotter"	0-750 m	
		Unter-		Tonmergel, Sande, Schotter, Braunkohle	0-300 m	
	BADEN	Ober-		Tonmergel, Sandstein	0-150 m	
		Mittel-		Kohlige Lagen, Tonmergel, Nulliporenkalk, Sandsteine	0-600 m	
		Unter-		Nulliporenkalk, Tonmergel, Sandsteine Basiskonglomerat Vulkanite: Latite und Tuffe	0-160 m	
	KARPAT "Ober-Helvet"				Konglomerate, Sandsteine Tonmergel und Sandsteine Vulkanite: Latite und Tuffe "Tonmergelgruppe"	0-230 m
					Konglomeratreiche Gruppe Konglomerate Sandsteine Tonmergel Rotlehme Latite und Tuffe Dazite ?	Konglomeratreiche Gruppe 0-700 m Vulkanite gas: 0-800 m
	OTTNANG Helvet s. str.				Mergelsandsteine, Tonmergel Glanzkohle	0-160 m
					Bituminöse Mergel, Glanzkohle	0-65 m
					Brekzien, lateritische Tonsteine Glanzkohle	0-60 m
PALÄOZOIKUM	DEVON	Unter- bis Mittel-		Dolomite und Bänderkalke	0-145 m	
	ORDOVICIUM	Unter Devon-Ob. Ordovicium		Tonschiefer und Phyllite Tuffitschiefer	0-275 m	
KRISTALLIN, METAMORPHER UNTERGRUND				Granatgneis, Amphibolit, Marmor	?	

Fig. 2:  
Stratigraphisches Schema der paläozoischen und tertiären (bis zum Pannon) Schichtfolge (aus K. KOLLMANN, 1980)

Im Karpat setzten sich zunächst die groben terrestrischen Einschüttungen fort, gefolgt von einer Meeresingression mit marinen, meist tonigen Ablagerungen. Zu dieser Zeit begann eine vulkanische Tätigkeit, die als miozäner Vulkanismus bezeichnet wird. Seine bedeutendsten Relikte sind Trachyte und Dacite der Gleichenberger Kogel. Diese schildartigen Aufwölbungen gingen mit Krustenbewegungen und Schichtverstellungen einher, die gleichzeitig eine Hebung des Alpenrandes bewirkten.

Das Baden ist am Westrand durch eine karbonatische Entwicklung gekennzeichnet, den sogenannten "Leithakalken" des Wildoner Buchkogels, im E, wie z.B. im Fürstenfelder Becken, durch eine Wechselfolge von Tonmergeln und Sandsteinen. Mit dem Ausklingen des Vulkanismus hielt die Absenkung des Beckens weiter an und bedingte dadurch am Gebirgsrand das Einströmen von Blockschutt. Die Senkungsvorgänge gingen weitgehend ohne Brüche vor sich.

Im Sarmat herrscht lithologisch eine starke Wechselfolge von Tonen, Sanden und Kiesen vor. In hangenden Partien vorkommende Süßwasserkalke weisen auf ein Aussüßen des Meeres hin. Die im Untersarmat stark verzahnten Sedimente erfuhren im nördlichen Beckenabschnitt (um Hartberg) eine leichte Einsenkung, während der südliche Teil etwas gehoben wurde.

Als Leithorizont des Obersarmats sind die bis 30 m mächtigen Gerölle der "Carinthischen Deltaschotter" anzusehen, die in Tonen eingepackt sind. Sie bestehen hauptsächlich aus Kristallinrelikten, die im Grabenland und im unteren Murtal örtlich aufgeschlossen sind oder erbohrt wurden (A. WINKLER-HERMADEN & W. RITTLER, 1949). Da sie aber im

engeren Bereich des Fürstenfelder Beckens durch Bohrungen nach artesischem Wasser nicht angefahren werden konnten, spielen sie für die vorgegebene Fragestellung keine Rolle.

## 1.2. Pannone Schichtfolge

Durch die Heraushebung der Südburgenländischen Schwelle verlagerte sich die Beckenachse nach N, so daß das Beckentiefste nördlich von Fürstenfeld zu liegen kam.

### 1.2.1. Beckenentwicklung

Aus Fig. 1 geht hervor, daß im Steirischen Becken nur Unterpannon (Bezeichnung nach K. KOLLMANN) in relativ geringer Mächtigkeit abgelagert wurde. Östlich und südöstlich der Südburgenländischen Schwelle, im Westpannonischen Becken, sinkt die Liegendgrenze stark ab, die Schichtmächtigkeit erreicht fast 2000 m. Im Steirischen Becken selbst ist der Ablagerungsrhythmus in Form fluviatiler Sande und Kiese sowie limnischer Tone (öfters kohleführend) geprägt.

Die Schichtenfolge (Tab. 1) beginnt im Unterpannon mit Sanden und Feinkiesen, darüber folgen mächtige graue und blaue Tonmergel mit Kohleschmitzen (z.B. Lignithorizont von Weiz und Paldau; Pannon B).

Die Zone C wird ebenfalls durch Kies-, Sand- und Tonfolgen charakterisiert:

- tiefstliegende Grobklastika: Kapfensteiner Schotter (Kristallingerölle aus den Alpen)
- erste limnische Zwischenserie (u.a. Lignite von Ilz)

OSTSTEIRISCHES BECKEN						
AUERSBACHER SCHWELLE	FEHRING-FÜRSTEN FELDER BECKEN	FRIEDBERG-PINKA FELDER BUCHT	SÜD BURGENLÄNDISCHE SCHWELLE			
Postbasaltische Schotter Basalte, Basalturfe, Tuffite Präbasaltische Schotter	Basalte etc.		Süd: Basalte etc.		DAZ	PLIOZÄN
		Süßwasserkaie von Kirchfidisch Königsberg		H	PONT	PANNON
	Schichten v. Jennersdorf = „Blaugüne Serie“ Taborer Schotter			G		
		Kohle von Ebenau und Oberneuberg Congerienschnäbelhor	???	F		
	Kohle v. Hennersdorf etc. Schichten v. Loipersbach und Unteriamm	Stegersbacher Schichten	Nord: Sande u. bunte Töne	D+E		
	fossilarme Handgesch. Karnerbergsschotter 2. Limno. Zwischenserie Kirchberger Schotter 1. Limno. Zwischenserie und Kohle von Ilz  Kapfensteiner Schotter	fossilarme Sande und Tone  Kapfensteiner Schotter	Süd: Kapfensteiner Schotter	C		
	fossilarme Tone v. Hartmanns Pöllau etc.	Tonmergel mit Congeria ornithopsis Sande mit Melanopsis impressa	Süd fossilarme Tonmergel mit Congeria ornithopsis	B		
		???		A		

Tab. 1:  
Die Schichtfolge des Pannon, Pont und Daz  
(nach K. KOLLMANN, 1964)

- Kirchberger Schotter: Die Gerölle sind jenen der Kapfensteiner Schotter ähnlich und können örtlich mit diesen auch verzahnt sein.
- zweite limnische Zwischenserie mit einem Überwiegen toniger Sedimente
- Karnerberg-Schotter: Im Vergleich zu den liegenden Pannonsschottern ist hier der Karbonanteil höher. Dieser Horizont geht im W in die Schemmerlschotter über.

Die Taborer Schotter des Pont sind nur von lokaler Bedeutung.

Der Vulkanismus des Daz durchstieß in Form von Basalten die gesamte tertiäre Schichtfolge. Sein sehr begrenztes Verbreitungsgebiet widerspiegelt auch die geringe hydrogeologische Rolle, der Einfluß auf die Wasserführung pannoner Aquifer bleibt unbedeutend.

### 1.2.2. Ausbildung und Verbreitung von Grundwasserleitern

Aus der Kenntnis der Aufschüttungsentwicklung und der Genese gröberklastischer Sedimente wäre es möglich, Hinweise auf deren Verbreitungsgebiete zu erlangen. Aufschüttungsrichtungen sind wohl ausschließlich aus obertägigen Aufschlüssen abzuleiten, da aus Bohrungen keine ungestörten Proben gezogen werden können.

Die bedeutendsten Grundwasserleiter liegen im Unterpannon (Pannon C). Während sie im südlichen Abschnitt des Fürstenfelder Beckens als getrennte Folgen auftreten, fallen sie weiter im N - wo die kohleführenden Zwischenlagen fehlen - als einheitlicher Schotterhorizont zusammen. Durch Untersuchungen von A. WINKLER-HERMADEN & W. RITTLER (1949) anhand von Aufschlüssen in Sand- und Kiesgruben wurde der Raum Fürstenfeld als Zentrum des Beckens eruiert. Ausgehend von der Auersbach-Schwelle sind die Grobklastika flach nach N und NW eingeschüttet, wie durch Aufschlüsse im Raum Kapfenstein und Übersbach nachgewiesen wird. Auch vom nordwestlichen Rand (Sinabelkirchen, Weiz, Waltersdorf) fallen die Sedimente der Kapfensteiner und Kirchberger Schotter zur Beckenmitte ein, die bei Speltenbach in söhli-ger Lagerung erreicht sein dürfte (nach A. WINKLER-HERMADEN & W. RITTLER, 1949).

Nicht so weit verbreitet wie die Kapfensteiner Schotter sind die Karnerberg-Schotter, die etwa 30 - 50 m über dem Kirch-



berger Niveau liegen. Die Beckenmitte dürfte sich in dieser Zeit etwas nach N verlagert haben (Bierbaum - Blumau). Bohrungen in Burgau, Schwarzmannshofen, Blumau, Speltenbach, Altenmarkt und Fürstenfeld lassen diesen Horizont in eine Tiefe von 45 - 65 m eingliedern.

Sowohl die Kapfensteiner/Kirchberger als auch die Karnerberg-Schotter sind nicht als einheitliche zusammenhängende Sedimentationsplatte zu verstehen. Vielmehr muß man davon ausgehen, daß Erosionsrinnen durch fluviatile Ablagerungen wieder zugeschüttet wurden. So hat auch H. ZETINIGG (1982) darauf hingewiesen, daß die Verfolgung solcher talförmiger Horizonte systematische Untersuchungen erfordert, da die wechselnde Mächtigkeit und Verbreitung sowie die Verzahnung von Aufschüttungen die Korrelation von Infiltration und Exfiltration sehr erschwert.

### 1.3. Entwicklung von Talsystemen

Die Genese des Quartärs im Periglazial erlaubt ein Bild über die Entwicklung der Landschaft des unteren Feistritztales. Die Feistritz floß im ältesten Pleistozän vom Kaibinger Gebirgssporn über Auffenberg nach E, querte das heutige Safen- und Lafnitztal und erreichte den Unterlauf der Strem und Pinka. Im Laufe des Pleistozäns wechselte sie ihre Fließrichtung von E nach SE. Zwischen Auffenberg und ihrem heutigen Lauf hinterließ die Feistritz einige Terrassen. Solche, die von der Ilz aufgeschüttet wurden, liegen bei Kalsdorf, was besagt, daß dieser Fluß im späteren Pleistozän östlich der Siedlung Ilz nach NE umbog und der Feistritz zustrebte. Die Ursache von Flußverlagerungen der Feistritz und Ilz ist in erster Linie tektonisch zu erklären. Das Fürstenfelder Becken senkte sich immer weiter ab, was ein verstärktes Einfallen der Schichtfolgen zum Beckentiefpunkt

hervorrief. Auch dem BEAR'schen Gesetz, dem Rechtsdrängen der Flüsse auf der Nordhalbkugel, ist eine Bedeutung beizumessen. Der Rechtsdrang ist heute noch nicht ausgeschlossen, das zeigt der asymmetrische Querschnitt der beiden Täler.

Bei den pleistozänen Verebnungen handelt es sich um Schotterterrassen, die von einer mehr oder weniger mächtigen Lehm-Deckschicht überlagert werden. Die höchstgelegene und daher auch älteste ist jene von Auffenberg, die sich ungefähr 140 m über dem heutigen Talboden ausbreitet. Ihre Kiese, die einen Durchmesser bis 60 cm erreichen, weisen auf eine Hebung des Hinterlandes während ihrer Ablagerung hin. Die Lehmdecke fehlt meistens, sie wurde bereits abgeschwemmt, oder sie ist nur mehr in geringer Mächtigkeit erhalten. Üblicherweise wird diese Terrasse in das Laaerberg-Niveau eingestuft, das zeitlich dem Altpleistozän entspricht. Die nächste darunterliegende Terrasse liegt ca. 110 m über der Feistritz. Ihre Schotter, ebenfalls ziemlich grob ausgebildet, werden nicht nur scharf zu den tertiären Sedimenten, sondern auch zur darüberliegenden Lehmdecke abgegrenzt. Sie bestehen aus Quarzen und Quarziten, fallweise auch aus Gneisen. Unter der zweithöchsten Verebnung erstreckt sich eine folgende, die etwa 70 m über dem Talniveau liegt. Sie wird nach unten von noch drei weiteren Terrassen abgelöst, die infolge der geringen kolluvialen Abschwemmung eine dickere Lehmschicht tragen als die vorher erwähnten.

Bei den jungen Pleistozänterrassen sieht J. FINK (1959) eine Differenzierung zwischen Flüssen, die von Gletschern gespeist wurden und autochthonen, deren Quellgebiet sich noch im periglazialen Bereich befand. An der Mur ist z.B. eine Niederterrasse entwickelt, in die die holozäne Talaue eingesenkt wurde. An den autochthonen Gerinnen fällt seiner Ansicht nach die Niederterrasse mit dem Talboden zusammen, der während der letzten Kaltzeit entstanden ist.

Die Feistritz kann man als autochthonen Fluß bezeichnen, auch wenn sie in einem ganz geringen Maß von einem kleinen Lokalgletscher am Stuhleck gespeist wurde. Die unterste Terrasse beginnt bei Blaindorf und begleitet die Feistritz bis zum Safental. Man kann sie nicht mit der Würmterrasse an der Mur vergleichen, da sie eine nennenswerte Lehmdecke besitzt und nicht in einer deutlichen Kante, sondern in zumeist weit auslaufenden Schleppehängen zum Talboden abfällt.

## 2. AUFSCHLÜSSE ARTESISCHER WÄSSER

Eine Reihe von Bohrungen lassen die Tiefenlage artesischer Horizonte festlegen oder zumindest erahnen. Sie wurden für verschiedene Zwecke abgeteuft:

- private artesische Hausbrunnen zur individuellen Versorgung (auch Dorfbrunnen, ÖBB),
- kommunale Versorgungen für größere Abnehmer (z.B. Stadtgemeinde Fürstenfeld, Molkerei Großwilfersdorf),
- Aufschlußbohrungen für Forschungszwecke,
- Prospektionsbohrungen auf Kohlenwasserstoffe oder geothermale Energie.

### 2.1. Versuchs- und Aufschlußbohrungen

Jene Bohrungen, die gespannte Grundwasserhorizonte in ihrer Tiefenlage eindeutig identifizieren, sind in Fig. 3 lagemäßig zusammengefaßt. Eine Aufstellung der Aufschlüsse mit den erfaßten Aquiferen und der pannonen Ablagerungen wird durch die Bohrungen Großsteinbach I, Fürstenfeld Thermal 1, Waltersdorf 1, Blumau 1 und Blumau T erreicht.

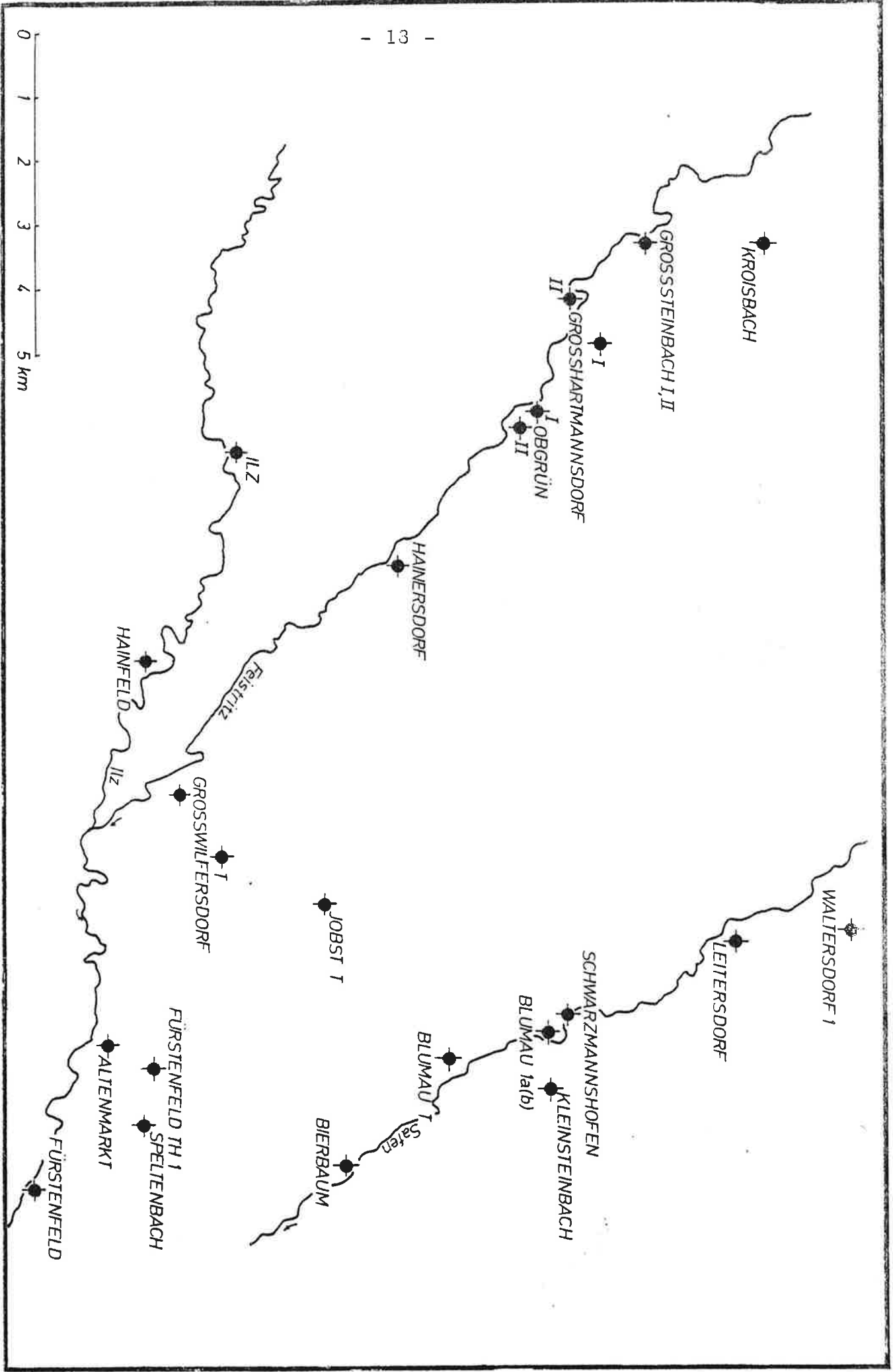


Fig. 3: Lage von Bohrungen mit geologischen Informationen hinsichtlich pannoner Aquifere

Tab. 2: Aufschlußbohrungen zur Erfassung gespannter Grundwasserhorizonte im unteren Feistritz-, Ilz- und Safental

Bohrung	Qu*	Sh (m)	Tiefe Endt. abs (m)	Pannongrenze Teu. abs (m)	Tiefenlage pannoner Horizonte (m)	Horizonte
<u>Feistritztal</u>						
Kroisbach	a	340	88 252		328-322	263-265
Großsteinbach I	a	320	249 71	130 190	299-302	263-268
Großsteinbach II	a	320	65 255			203-207
Großhartmannsd. I	a	312	59 253		290-293	256-261
Großhartmannsd. II	a	312	75 237		279	248-271
Obgrün I	b	304	28 276		279-282	
Obgrün II	b	303	26 277			194-198
Hainersdorf	a	292	140 152			257-263
<u>unteres Ilz- und Feistritztal</u>						
Ilz	c	287	102 185			202-207
Hainfeld	c	283	82 201		228-233	201-208
Großwillfersdorf	b	275	150 125			202-209
Großwillfersdf.(T)	b	276	24 252			169-182
Jobst (T)	a	290	60 230			178-182
Altenmarkt	c	260	85 175		230-240	199-203
Speltenbach	c	260	124 136			189-195
Fürstenfeld Th I	d	264	3145 -NN	192 72		187-192
Fürstenfeld	b	254	142 112			146-160
Fürstenfeld	c	280	180 100			183-188
<u>unteres Safental</u>						
Waltersdorf I	d	311	1553 -NN	57 254		120-129
Leitersdorf	c	285	96 189			125-130
Schwarzmannshofen	c	275	54 221		221-225	189
Blumau I(la)	d	274	3045 -NN	95 179		143-154
Kleinsteinbach	c	273	130 143		237-239	
Blumau (T)	a	270	190 80	149 121		243-247
Bierbaum	c	268	65 203		203-212	225-232

\*

a) Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung  
 b) Vereinigung für hydrogeologische Forschungen

c) Lit. A. WINKLER-HERMADEN & W. RITTLER (1949)  
 d) Forschungsgesellschaft Joanneum

Die größte Mächtigkeit des Pannons im Fürstenfelder Becken zeigt sich im zentralen Bereich: In der Bohrung Fürstenfeld Thermal 1 sind immerhin fast 200 m aufgeschlossen (J.E. GOLDBRUNNER & J.G. ZÖTL, 1985). Die Liegendgrenze steigt gegen N über Blumau nach Waltersdorf um fast 150 m an. Eine leichte Erhöhung erkennt man auch gegen NW, aufwärts des Feistritztales. Bei Großsteinbach in einer Entfernung von ca. 15 km von Fürstenfeld Thermal 1 ist das Pannon noch immer 130 m mächtig, die Tiefbohrung Waltersdorf 1 in nur 11 km Entfernung weist die Liegendgrenze hingegen bereits in 57 m Tiefe aus.

Die Verbreitung von Grundwasserhorizonten im Pannon ist solchen im Sarmat nicht gleichzustellen, wo weitreichende zusammenhängende Flächen auftreten. Im Pannon sind hingegen die Aquifere gemäß der fluviatilen Sedimentationen der Grobablagerungen oft lokal begrenzt. Dies wird auch durch die Zusammenstellung der Bohraufschlüsse in Tab. 2 dokumentiert. Sie enthält die Endteufe der Bohrungen sowie die Tiefenlage von Sand- und Kieshorizonten innerhalb der pannonen Schichtfolge, gestaffelt nach ihrer Tiefe.

Trotz der Vorstellung von nur sehr lokal verbreiteten Horizonten wurde unter Berücksichtigung von Literaturangaben und der Tiefengliederung der Aquifere versucht, einheitliche Entwicklungsansätze solcher Sedimentationszyklen zu erkennen.

Dazu können zwei geologische Profile Hilfestellung bieten:

- a) entlang des Feistritztales zwischen Kroisbach und Fürstenfeld (Fig. 4) und
- b) entlang des unteren Safentalles zwischen Waltersdorf und Fürstenfeld (Fig. 5).

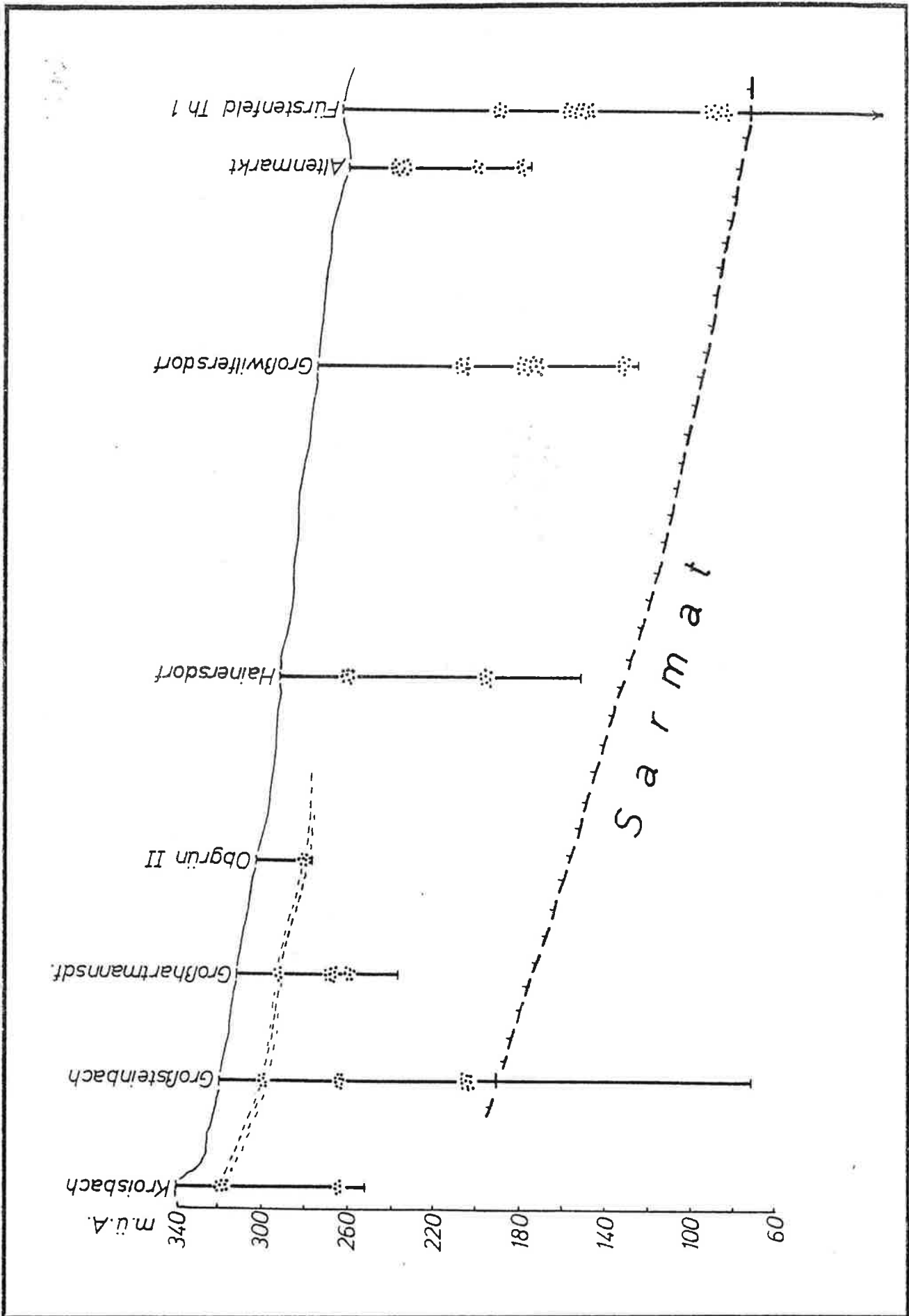


Fig. 4: Geologisches Profil unteres Feistritztal (Kroisbach - Fürstenfeld; Längenmaßstab ca. 1 : 85.000)

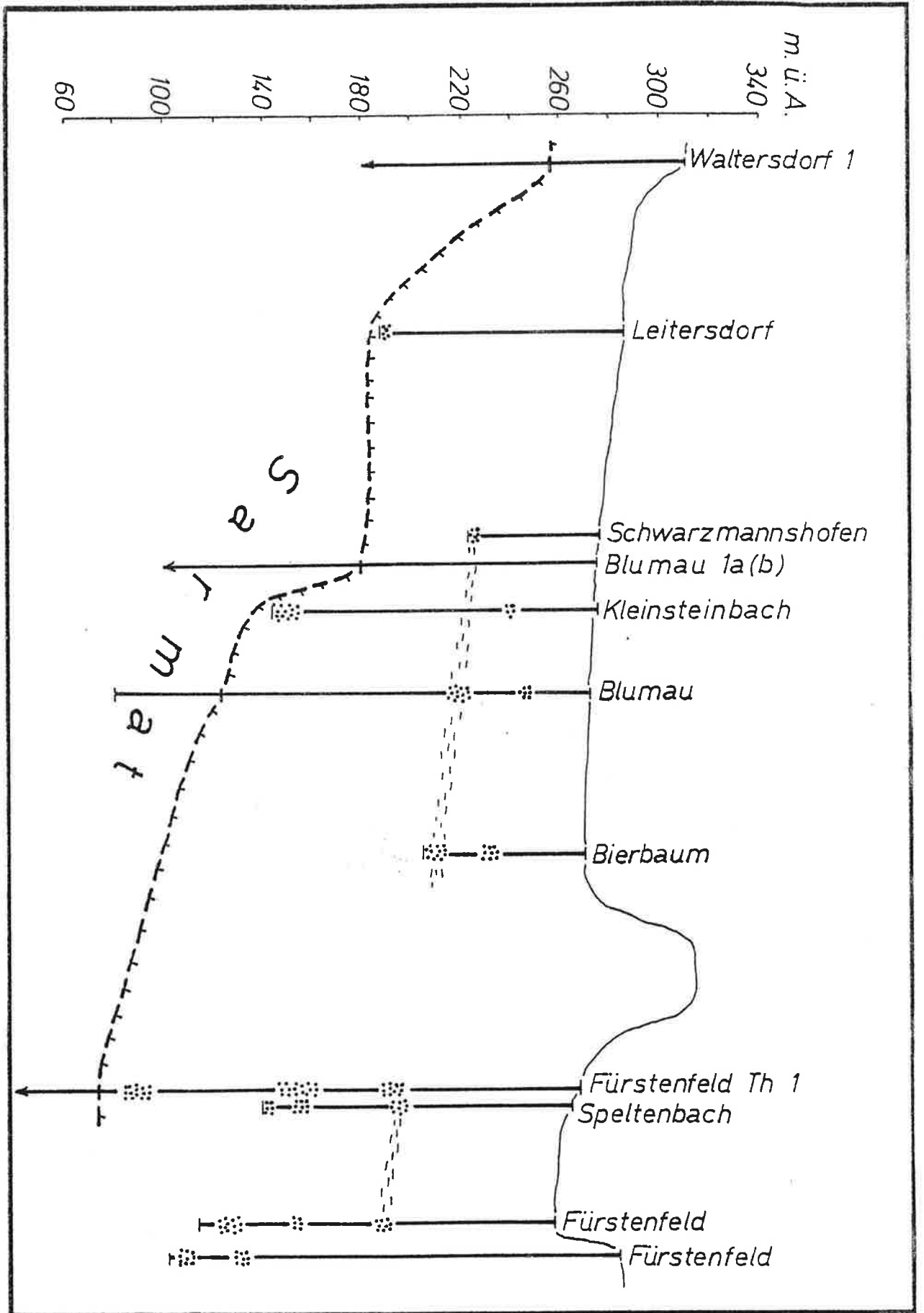


Fig. 5: Geologisches Profil unteres Safental (Waltersdorf - Fürstenfeld)  
Längenmaßstab ca. 1 : 76,000



Begründet durch die Lage der bereits oben erwähnten Liegendgrenze des Pannons muß davon ausgegangen werden, daß die Sedimentation nicht gleichmäßig erfolgte, sondern bestimmten Zyklen unterlag. Das Beckentiefste dürfte durch die Bohrung Fürstenfeld Thermal 1 in 72 m Seehöhe erreicht worden sein, was einer Schichtmächtigkeit von 187 m entspricht (Fig.4,5). Ostracodenfunde stufen die gesamte Abfolge in das Pannon B ein (J.E. GOLDBRUNNER & J.G. ZÖTL, 1985).

Für die genaue Verfolgung der Pannonuntergrenze stehen nach W hin (feistritztaufwärts) nicht genügend Aufschlüsse zur Verfügung. Lediglich die Bohrung Großsteinbach I ist tief genug, um die Grenze Obersarmat-Unterpannon in 190 m Seehöhe zu fixieren (Fig. 4; H. POLESNY, 1975). Die Pannonmächtigkeit ist damit um etwa 65 m geringer als in Fürstenfeld. Die Sedimente vermitteln eine Liegendgrenze, deren Einfallen zum Beckentiefsten mit etwa 5° interpretiert werden kann.

Mehr Tiefenaufschlüsse liegen im Safental nördlich von Fürstenfeld vor. Die artesische Testbohrung Blumau weist die Sarmatobergrenze ca. 50 m höher als bei der Thermalwasserbohrung Fürstenfeld aus, die Schichtmächtigkeit beträgt 141 m (Fig. 5). H. POLESNY (1975) stuft die Sedimente in das Unterpannon ein.

Zwar nur ca. 1,5 km von diesem Aufschluß entfernt, wird die Pannonliegendgrenze in der Bohrung Blumau 1 (1a) fast 60 m höher erreicht, die Schichtmächtigkeit des hier ausgewiesenen Pannon B beträgt hier 92 m.

Obwohl im Anschluß an die "Steirische Diskordanz" die Absenkung des Beckens ohne nennenswerte Anzeichen von Bruchbewegungen vor sich gegangen ist, dürften auch noch im Pannon die in die Tiefe gleitenden Schollen - vor allem im

Zentralteil des Beckens - zu beachtlichen Höhenunterschieden geführt haben. Ob diese Entwicklung im Zusammenhang mit einer Heraushebung der südlichen Beckenflanke einherging oder rein erosiven Charakter hatte, konnte allerdings nicht festgestellt werden. Auch angesichts der steilen Flanke der Sarmatobergrenze zwischen der Testbohrung Blumau und Blumau 1(1a) kann lediglich auf diese Umstände hingewiesen werden.

Auch zur nördlichsten Aufschlußbohrung, Waltersdorf 1, ist eine möglicherweise tektonisch bedingte Stufe ausgebildet. Die in das Pannon B eingegrenzten Sedimente sind hier nur 57 m mächtig. Dies ergibt gegenüber Blumau 1 auf eine Entfernung von ca. 5 km eine Mächtigkeitsdifferenz von 75 m, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß die Tiefbohrung von Waltersdorf nicht direkt im Talboden der Safen abgeteuft wurde.

Ohne sich zu sehr von Horizontbezeichnungen nach örtlichen Namen leiten zu lassen, soll im folgenden versucht werden, die Ausbildung pannoner Aquifere tiefenmäßig zusammenzuhängen. In keiner Weise soll dabei jedoch auf eine pläontologische Einstufung in verschiedene Schichten des Pannons erhoben werden.

a) tieferes Schichtenpaket: An der Basis des Pannons ist ein wenige Meter mächtiger Sandhorizont erkennbar (Angaben in m Seehöhe):

- Großsteinbach 203-207 m

- Fürstenfeld Thermal 1 82-93m

b) höheres Schichtpaket: Hier ist keine Einheitlichkeit der Sedimentation gegeben, immer wieder treten Sandeinschlüsse und -lagen auf (Angaben in m Seehöhe):

- Kroisbach 263-265 m
- Großsteinbach 263-268 m
- Großhartmannsdorf 248-271 m (mehrere)
- Hainersdorf 194-198 m
- Altenmarkt 230-240, 199-203, 178-182 m
- Fürstenfeld Thermal 1 187-192, 146-160 m
- Fürstenfelder Wasserversorgungsbohrung 183-188,  
151-152m
- Speltenbach 189-195, 138-154 m (mehrere)

c) höchstes Schichtpaket: In diese Abfolge sind die Grobklastika der Kapfensteiner-Kirchberger sowie der Karnerberg-Serie einzugliedern (Angaben in m Seehöhe):

- Obgrün 279-282 m
- Großwilfersdorf 255-261 m (Talrand)
- Blumau 213-221 m
- Schwarzmannshofen 221-225 m
- Bierbaum 225-232 m

Diesem Zyklus entsprechen möglicherweise auch noch seichtere Horizonte im Feistritztal talaufwärts von Obgrün:

- Kroisbach 318-322 m
- Großsteinbach 299-302 m
- Großhartmannsdorf 290-293 m

## 2.2. Aufschlüsse durch Schußbohrungen der Rohöl-AG

Zum Zwecke der lithologischen Tiefenaufklärung durch seismische Untersuchungen wurden von der Rohöl-AG entlang des unteren Feistritz- und Ilztales Schußbohrungen abgeteuft (Fig. 6). Sie sind mit wenigen Ausnahmen etwa 15 m tief und nur auf ihre Lithologie hin aufgenommen, die keine stratigraphischen Vergleiche erlaubt.

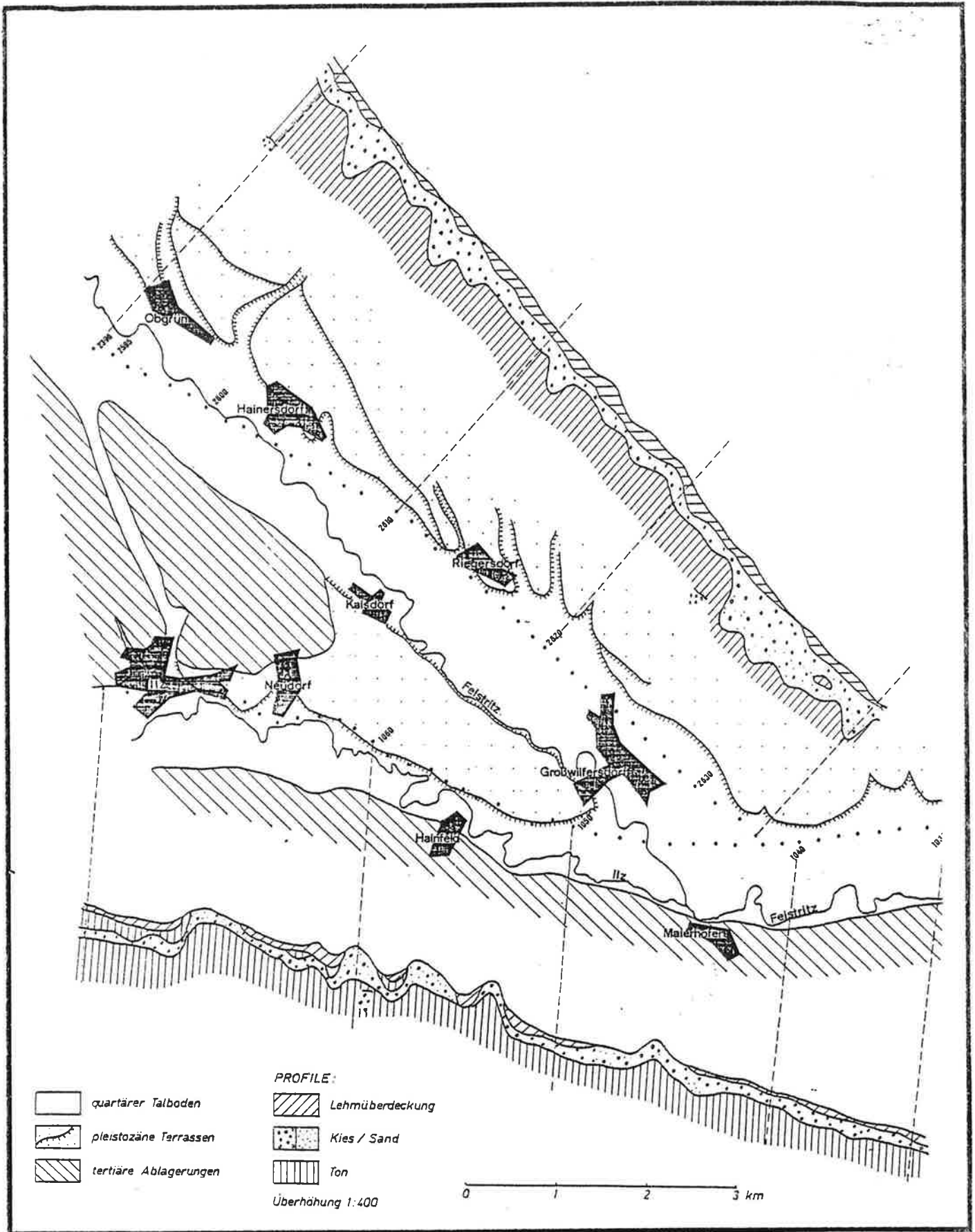


Fig. 6: Profile der Rohöl-AG-Schußbohrungen im unteren Feistritz- und Ilztal

Obwohl die Bohrungen durch ihre seichte Teufe vornehmlich zu einer Klassifizierung der quartären Ablagerungen dienen, können örtlich auch Hinweise auf die Ausbildung pannoner Schichten gewonnen werden. Im Ilztal ist das Profil schon durch die Lage der Schußbohrungen sehr wechselhaft. Diese Unruhe paust sich auch auf den tertiären Untergrund durch, wo im allgemeinen die tonige Komponente überwiegt. Im Feistritztal liegen die Schußpunkte durchwegs im quartären Talboden, wo die rezent abgelagerten Kiese von einer bis zu 3 m mächtigen Lehmdecke überlagert werden. Die Grobklas-tika selbst erreichen eine Tiefenausdehnung von maximal 4 m, in Ausnahmefällen auch etwas darüber. Von hydro-geologischer Bedeutung für das artesische Grundwasser dürfte der Raum Großwilfersdorf sein, wo Anzeichen für das Aus-keilen eines tertiären Kies-Sand-Horizontes in die jungen Talaufschüttungen vorliegen.

### 2.3. Artesische Hausbrunnen und deren Verbreitung

Wegen des Fehlens einer ausreichenden Menge Quellwassers und wegen der meist schlechten Qualität des seichtliegenden Grundwassers war die Bevölkerung gezwungen, tieferliegendes Grundwasser für Trinkwasserzwecke zu erschoten. In einer Zusammenschau hat H. ZETINIGG (1982) die Problematik um die artesischen Brunnen in der Oststeiermark aufgezeigt und ihre Bedeutung für die Wasserversorgung hervorgehoben.

Die nachstehende Aufstellung und Fig. 7 geben einen Überblick der Verbreitung artesischer Hausbrunnen in den einzelnen Ortschaften des Untersuchungsgebietes:

Ilztal: Ilz 17

Neudorf 2

Hainfeld 2

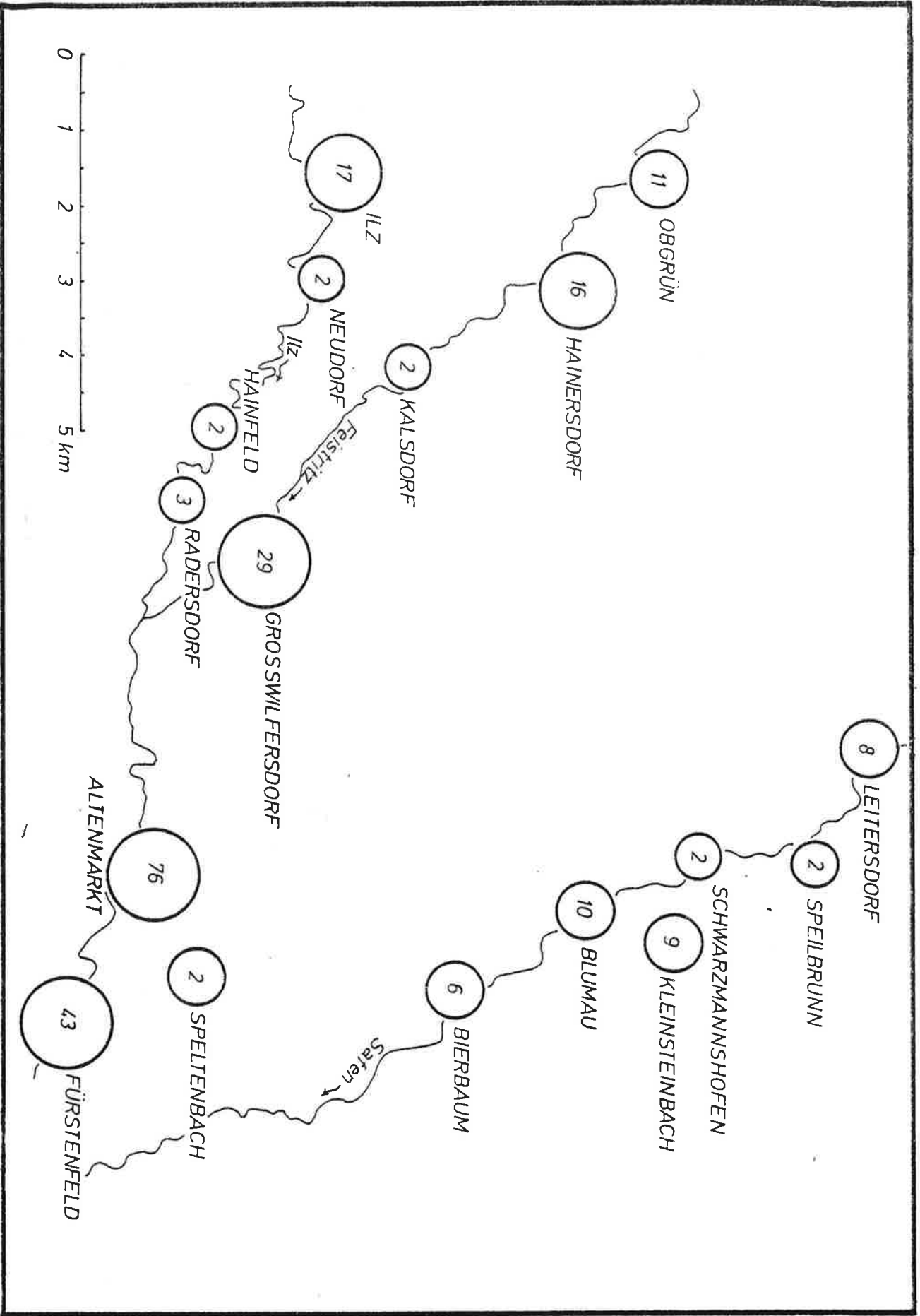


Fig. 7: Verbreitung der artesischen Hausbrunnen im unteren Feistritz- und Safental

Feistritztal: Obgrün 14  
Hainersdorf 16  
Kalsdorf 2  
Radersdorf 3  
Großwilfersdorf 29  
Altenmarkt 76  
Fürstenfeld 43

Safental: Leitersdorf 8  
Speilbrunn 2  
Schwarzmannshofen 2  
Kleinsteinbach 7  
Blumau 10  
Bierbaum 6

Die Aufnahme der artesischen Brunnen im Feistritz- und Ilztal erfolgte von F. RONNER im Auftrag der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz im Sommer 1967, die Kartierung im Safental wurde von W. STRUSCHKA durchgeführt. Für jeden artesischen Brunnen wurde ein Karteiblatt angelegt, worauf folgende Angaben vermerkt sind: Flußgebiet, Ort, Hausnummer, Name des Besitzers und des Brunnenmeisters, Zeitpunkt der Bohrung, Tiefe, Verrohrung, eventuelle Nachbohrungen, höhere Wasserhorizonte, Beeinflussung durch benachbarte Brunnen, Klima und Verschmutzung sowie chemisch-physikalische Eigenschaften: Temperatur, Schüttung, Steighöhe, pH-Wert, Alkalinität, Karbonathärte, Gesamthärte, elektrolytische Leitfähigkeit und Gehalt an freiem CO<sub>2</sub>. Von einigen Brunnen liegen auch Isotopenanalysen (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H, <sup>14</sup>C) vor, die entweder von der IAEA Wien oder vom Institut für Radiohydrometrie München ausgearbeitet wurden.

Die 17 artesischen Hausbrunnen in Ilz sind auf vier Horizonte verteilt (Fig. 8). Der seichteste, 30 - 35 m tief, ist im mittleren Teil des Ortes verbreitet und stellt möglicherweise eine enger begrenzte Linse dar. Zwei weitere

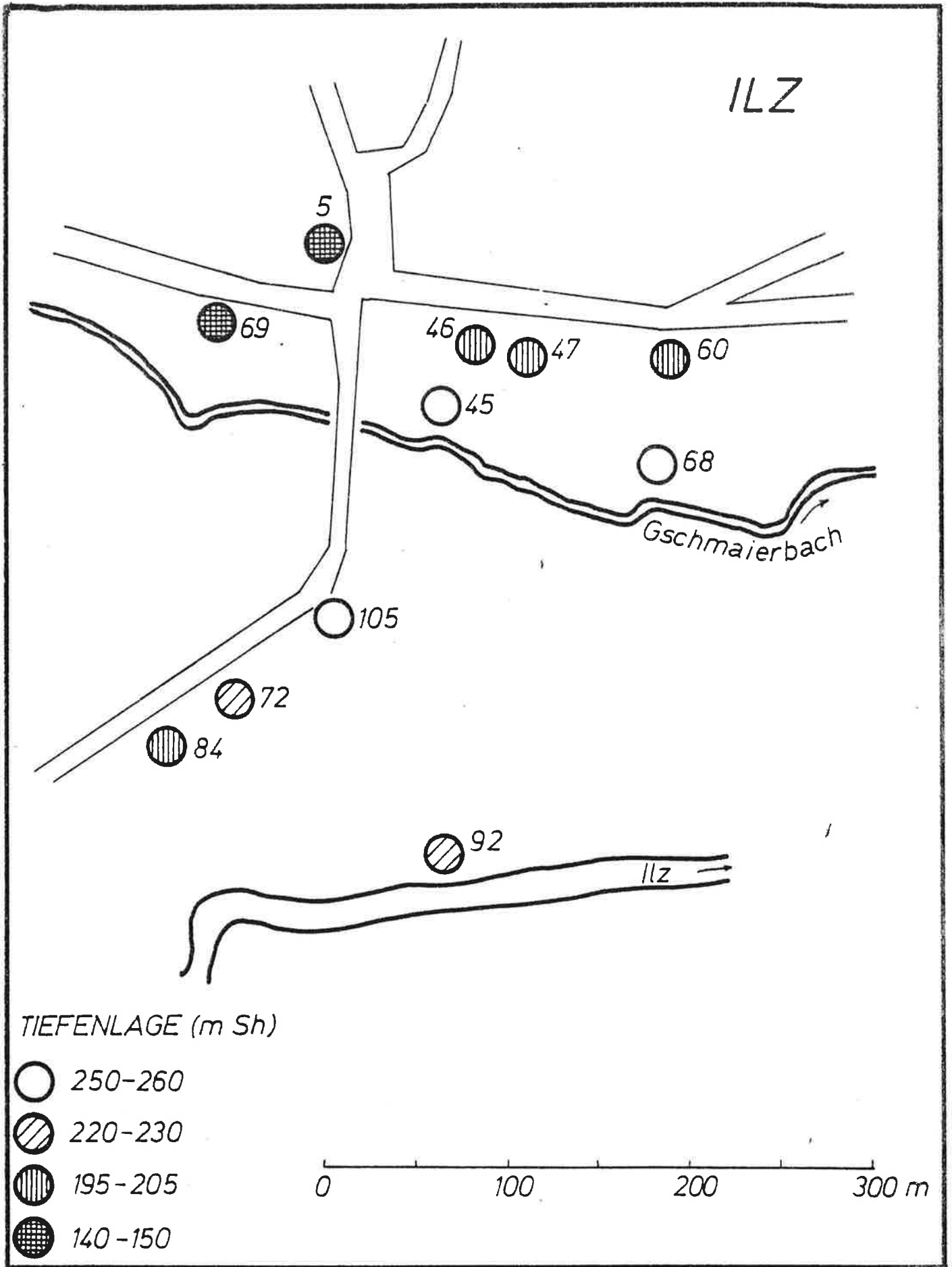


Fig. 8: Tiefenlage artesischer Brunnen in Ilz



Horizonte erreichen eine Tiefenlage von 60 - 65 bzw. 90 m. Um den Hauptplatz sind zwei Bohrungen situiert, die etwa 140 m tief sind. Fig. 8 enthält nur jene Brunnen, von denen gesicherte Tiefenangaben vorliegen. Alle Aquifere dürften dem Pannon B zuzuordnen sein, da die Kapfensteiner Schotter hier über dem Talniveau ausstreichen.

Ziemlich große Tiefen erreichen artesische Brunnen im untersten Ilztal östlich von Ilz: Die Gemeindebrunnen von Neudorf, Hainfeld und Radersdorf sind jeweils mindestens 120 m tief. Im unteren Feistritztal ist die Ortschaft Obgrün durch einen seichten, nur etwa 20 - 25 m tiefen Aquifer gekennzeichnet, der sich auch durch seine lokale Verbreitung eindeutig von den anderen Horizonten abgrenzen läßt.

Stark unterschiedlich ist die Tiefenverteilung der artesischen Brunnen in Hainersdorf (Fig. 9). So findet man im Ortskern 8 Bohrungen mit Tiefen zwischen 24 und 104 m. Eindeutig identifizierbar ist ein Horizont im NW, der kaum 20 m tief ist. Da alle Brunnen ein ziemlich ähnliches Druckniveau, eine ähnliche Wassertemperatur und einen ähnlichen Gehalt an Erdalkalien aufweisen, dürfte die Wasserwegigkeit zwischen den einzelnen Schichten nicht ganz reduziert sein und damit ein Beispiel verschachtelter Aquifere gegeben werden.

Von den 29 aufgenommenen artesischen Brunnen in Großwilfersdorf können etwa 20 klassifiziert und zu bestimmten Gruppen zusammengefaßt werden. Eine bedeutende Hilfe bildet dabei das Bohrprofil bei der Molkerei (Tab. 2), an Hand dessen vier gespannte Grundwasserhorizonte bis in eine Tiefe von 145 m zu verfolgen sind. Die Verteilung der artesischen Brunnen ist in Fig. 10 dargestellt. Die Brunnennummern entsprechen den dazugehörigen Hausnummern.

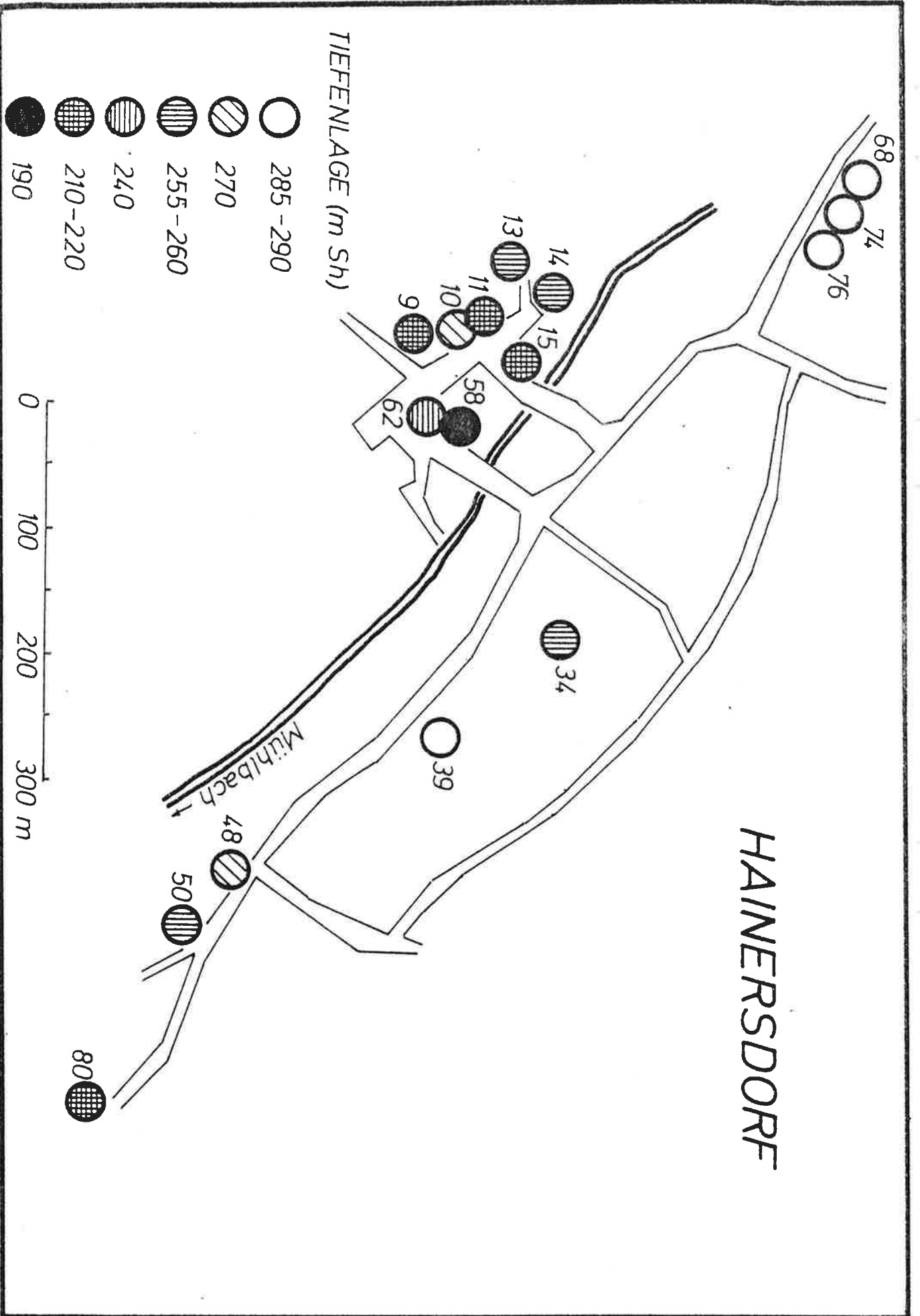


Fig. 9: Tiefenlage artesischer Brunnen in Hainersdorf

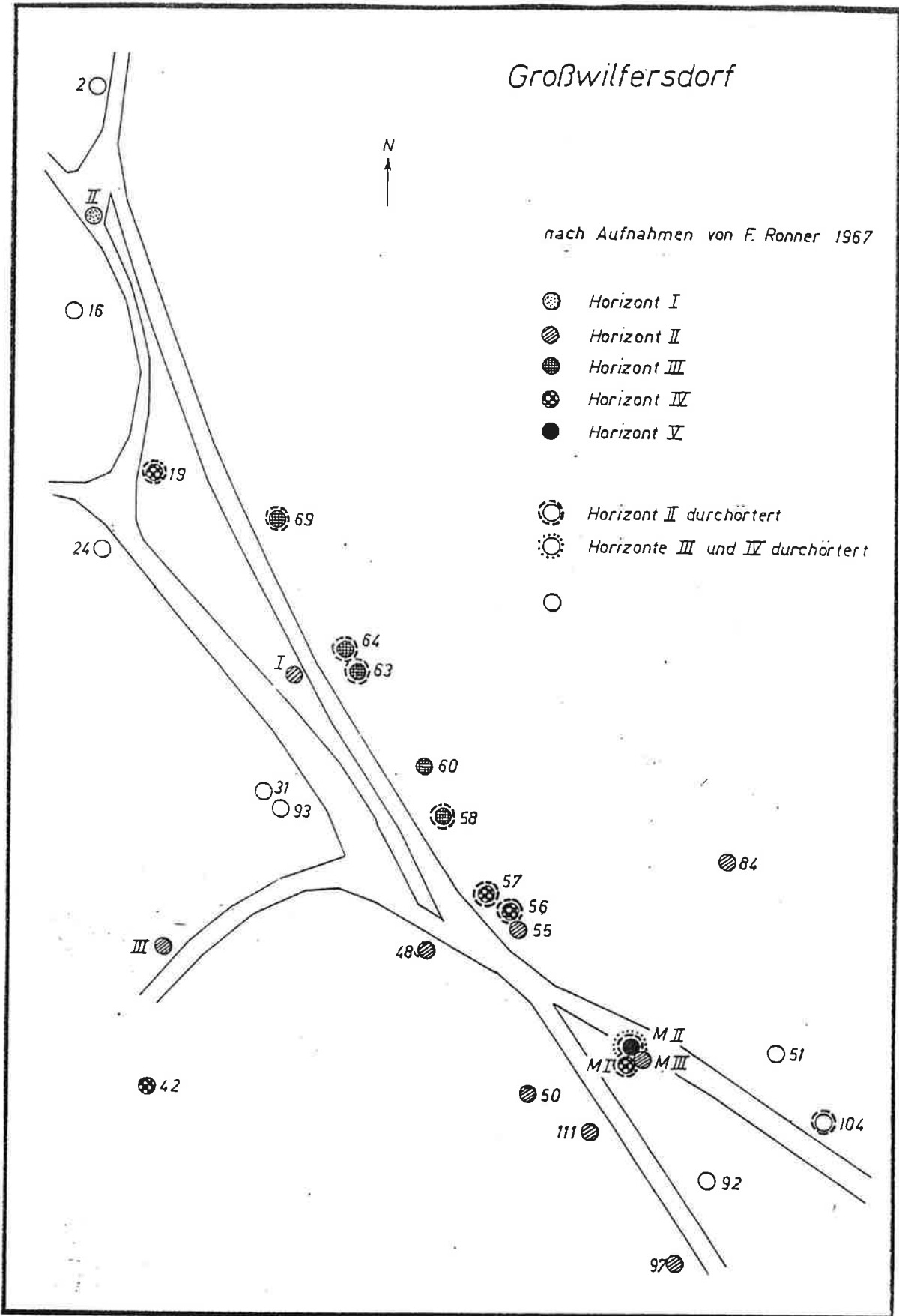


Fig. 10: Tiefenlage artesischer Brunnen in Großwilfersdorf

Im obigen Bohrprofil ist ein sehr seichter Horizont in 240 m Seehöhe nicht enthalten (Tiefe 35 m). Er besitzt eine lediglich lokale Ausdehnung und wird nur von der Bohrung II erschrotet.

Der oberste bei der Molkerei durchhörtere Horizont breitet sich zwischen 203 und 209 m Seehöhe aus. Da das Relief während der Ablagerung der wasserführenden Sedimente unruhig war, schwankt die Tiefe der Bohrungen, die diesen Horizont nutzen, zwischen 70 und 85 m. Es sind dies die Brunnen Nr. I, III, 48, 50, 55, 84, 97, 111 und M III. Das Wasser aus diesem Horizont wird durch folgende Merkmale charakterisiert:

Temperatur: um 14°C  
pH-Wert: 7,3 - 7,4  
Alkalinität: 5,2 - 5,5 mval/l  
Erdalkaliengehalt: 4,0 - 4,4 mval/l  
freies CO<sub>2</sub>: 29 - 37 mg/l  
Eisen: 0,4 mg/l

Der Horizont III wurde bei der Molkerei in einer Tiefe von 93 - 97 m angefahren, was einer absoluten Seehöhe von 178 - 182 m entspricht. Ausgenommen Brunnen Nr. 60 (mangelnde Angaben) ist von allen Bohrungen dieser Tiefenzone bekannt, daß sie den Horizont II durchstoßen: Nr. 58, 63, 64 und 69. Wie schon der Horizont II ist auch dieser in Großwilfersdorf zusammenhängend verbreitet. In der Molkereibohrung wurde er wegen des nur geringen Wasserdruckes mit einem Lehmschlag abgedichtet. Der Chemismus seines Wassers unterscheidet sich nur wenig von dem des Horizontes II (wahrscheinlich Mischwasser):

Temperatur: 14,2 - 14,6°C  
pH-Wert: 7,4  
Alkalinität: 5,4 - 5,6 mval/l  
Erdalkaliengehalt: 4,0 - 4,3 mval/l

freies CO<sub>2</sub>: um 30 mg/l

Eisen: 0,3 - 0,4 mg/l

Der Horizont IV wurde bei der Molkereibohrung in einer Tiefe von 100 m erreicht, und die Teufe verblieb bis 106 m in ihm, was einer absoluten Höhe von 169 m entspricht. Es ist kaum möglich, die Ausbreitung dieses Horizontes festzustellen, da nur wenige artesischen Brunnen aus seinem Reservoir schöpfen: Nr. 19, 42, 56, 57 und M I. Aus der Lage der Brunnen kann man aber erkennen, daß auch dieser Grundwasserleiter nahezu den ganzen Ort umfaßt. Im Charakter des Wassers treten gegenüber den anderen Horizonten einige Veränderungen auf:

Temperatur: 15 - 16°

pH-Wert: 7,4

Alkalinität: 5,6 - 5,8 mval/l

Erdalkaliengehalt: 3,8 - 4,2 mval/l

freies CO<sub>2</sub>: 25 - 31 mg/l

Je tiefer die artesischen Brunnen sind, desto schwieriger ist es, Horizonte zu erkennen. Nach dem Bohrprofil des Molkereibrunnens kann man den nächsten stark wasserführenden Aquifer erst in 140 - 145 m Tiefe antreffen (130 - 135 m Seehöhe), aus dem auch das Wasser des Brunnens M II stammt. Zwar sind zwischen 106 und 140 m Tiefe einige wasserführende Sandlagen bekannt, die in Großwilfersdorf vier artesischen Brunnen speisen, doch sind sie nur wenig ergiebig. Der Chemismus des Wassers aus dem tiefsten Horizont (V) eignet sich gut für einen Vergleich mit dem anderer Schichten:

Temperatur: 16,5°C

pH-Wert: 7,3

Alkalinität: 6,0 mval/l

Erdalkaliengehalt: 3,0 mval/l

In Altenmarkt, wo 76 artesische Brunnen bestehen, wird die Mehrzahl der Häuser mit gespanntem Grundwasser versorgt. Da keine Bohrprofile vorliegen, ist die Sedimentabfolge nicht bekannt. Trotzdem war es möglich, aus dem vorliegenden Material fünf verschiedene artesische Horizonte zu erfassen (Fig. 11).

Der seichteste Aquifer liegt in 15 - 20 m Tiefe. Seine größte Wasserführung und seinen höchsten Druck erreicht er im Ortszentrum, wo 4 Brunnen (Nr. 31, 51, 75 und 85) ausschließlich diesen Wasserspeicher nutzen und zusammen zur Aufnahmezeit (1967) 0,2 l/s schütteten. Dieser Horizont wird in der Umgebung der obgenannten Aufschlüsse von tieferen Bohrungen durchörtert. Aus diesen und den seichteren Bohrungen kann man auf eine furchenartige Anlage dieses Horizontes schließen. Die Merkmale des Wassers aus dem Horizont I lassen sich wie folgt wiedergeben:

Temperatur: 11 - 12°C

pH-Wert: 7,3

Alkalinität: 5,2 mval/l

Erdalkaliengehalt: 5,0 - 5,1 mval/l

freies CO<sub>2</sub>: 36 - 42 mg/l

Auch der Horizont II ist nicht flächenhaft über den gesamten Ort verbreitet, sondern in Rinnen angelegt, die eine Fließrichtung des unterirdischen Wassers nach NE vermuten lassen. Zwei Furchen sind erkennbar, wobei die nordwestliche die Brunnen Nr. 56, 57, 58 und 110, die südöstliche Nr. 26, 30, 32, 46, 47, 49, 50, 52, 84 und 99 umfaßt. Wenn man auch hinzufügen muß, daß die Angaben der Bevölkerung nicht immer exakt genug sind, ist aus den Unterlagen aber dennoch ersichtlich, daß die Bohrungen Nr. 54, 58 und 110 keinen höhergelegenen Horizont durchstoßen und damit auf eine rinnenförmige Akkumulation der pannonen Schotter hinweisen. Der Horizont II breitet sich in einer absoluten Höhe von

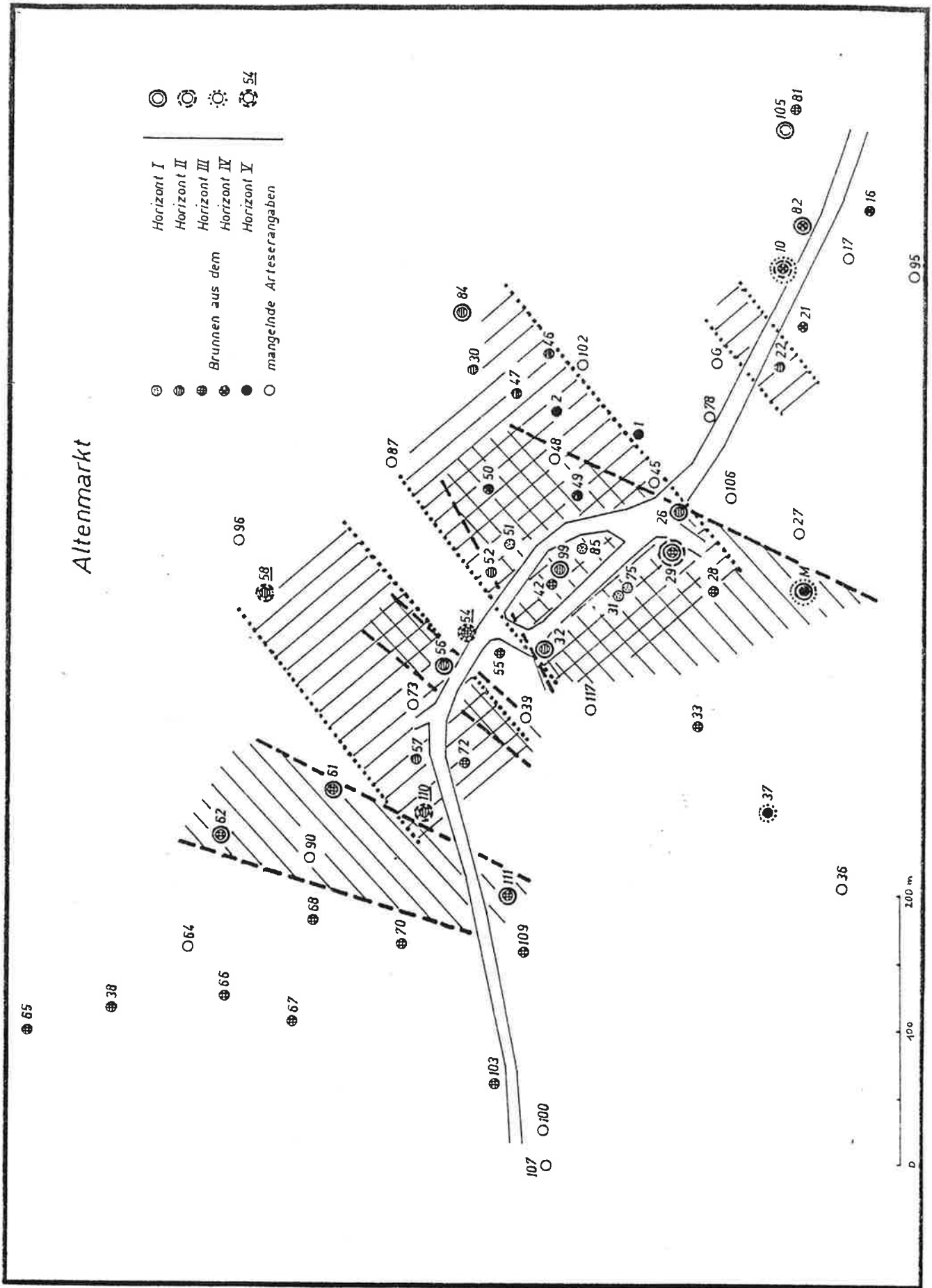


Fig. 11: Tiefenlage artesischer Brunnen in Altenmarkt

228 - 234 m, d.i. 26 - 32 m unter Terrain, aus:

Temperatur: 11,8 - 12,3°C

pH-Wert: um 7,3

Alkalinität: 4,4 - 5,2 mval/l

Erdalkaliengehalt: 3,9 - 5,0 mval/l

freies CO<sub>2</sub>: 22 - 40 mg/l

Ein Lagenachweis der wasserführenden Horizonte III, IV und V ist nicht mehr exakt möglich. Dennoch besitzen sie insofern eine Bedeutung, als die physikalisch-chemischen Parameter ihrer Wässer als guter Vergleich zu jenen der seichten Horizonte dienen. Dem Horizont III - in einer Tiefe zwischen 55 und 65 m - gehören die Bohrungen Nr. 38, 65, 66, 67, 68, 70, 103, 109, 121, 61, 62, 72, 111, 54, 55, 42, 28, 29, 33 und 81 an. Er ist der ergiebigste gespannte Grundwasserkörper in Altenmarkt:

Temperatur: 12,7 - 13,2 °C

pH-Wert: 7,4

Alkalinität: 4,6 - 5,0 mval/l

Erdalkaliengehalt: 2,2 - 3,3 mval/l

freies CO<sub>2</sub>: 16 - 24 mg/l

Es fällt auf, daß sich die Alkalinität im Vergleich zu den beiden oberen Horizonten kaum ändert, wohl aber ist der Gehalt an Erdalkalien deutlich niedriger, zugleich sinkt auch die Konzentration des freien CO<sub>2</sub>.

Die Brunnen des nächsttieferen Horizontes (IV) in 80 - 85 m Tiefe sind auf den SE des Ortes beschränkt. Dies sagt aber nichts über die Ausdehnung des Aquifers selbst aus. Ihm gehören die Brunnen Nr. 16, 10, 21 und 82 an. Die absolute Höhe dieser wasserführenden Schicht wird mit 173 - 178 m angegeben. Die beim Horizont III erkennbare Tendenz der Wasserbeschaffenheit setzt sich in diesem Aquifer fort:



Temperatur: 13 - 15°C  
pH-Wert: 7,4 - 7,5  
Alkalinität: 4,3 mval/l  
Erdalkaliengehalt: 1,8 mval/l  
freies CO<sub>2</sub>: 13 - 15 mg/l

Die unterste bekannte wasserführende Schicht (Horizont V) läßt sich in einer Tiefe von 127 - 137 m lokalisieren. Sie wird durch 4 artesische Brunnen genutzt, von denen jener bei der Mühle (M) etwa 1 l/s schüttet und damit einen der höchsten Ausflußwerte in der Oststeiermark aufweist. Aus den Angaben des Besitzers ist zu entnehmen, daß im Zuge der Abteufung hier auch seichtere Horizonte durchfahren wurden, so daß ein gespanntes Grundwasserstockwerk erkennbar ist. Der Charakter des Tiefengrundwassers unterscheidet sich von dem des Horizontes IV nur unwesentlich:

Temperatur: um 16°C  
pH-Wert: 7,4 - 7,5  
Alkalinität: 4,8 - 5,2 mval/l  
Erdalkaliengehalt: 2,2 - 2,3 mval/l  
freies CO<sub>2</sub>: 17 - 20 mg/l

Die artesischen Brunnen in Fürstenfeld liegen fast ausschließlich in der holozänen Talflur der Feistritz. Ihre Tiefe schwankt zwischen 18 und 180 m. Ein älterer, fast 180 m tiefer Brunnen ist aus dem Stadtgebiet bekannt. (A. WINKLER-HERMADEN & W. RITTLER, 1949). Er ist um 26 m höher loziert als die artesischen Brunnen an der Feistritz, wo auch die zentrale Anlage für die Wasserversorgung der Stadt gelegen ist (Tab. 2).

Was die Verbreitung artesischer Brunnen im Safental betrifft, so erreichen sie im Ortsgebiet von Leitersdorf und Speilbrunn beachtliche Tiefen. In Leitersdorf ist dieser Umstand im besonderen durch eine Differenzierung der Wassertemperatur gekennzeichnet.

Der seichteste gespannte Grundwasserhorizont, der überhaupt bekannt ist, befindet sich in Kleinsteinbach (Fig. 12) und ist nur wenige Meter tief. Die örtliche Ausdehnung aller in diesem Ort verbreiteten Horizonte dürfte ziemlich begrenzt sein, wenn dies auch nicht durch geologisch bewiesene Schichtaufnahmen dokumentiert ist.

Weiter im S, in Blumau und Bierbaum, erreicht ein Grundwasserkörper in einer Tiefe zwischen 55 und 65 m die größte Verbreitung. Über diese Teufe hinaus gehen lediglich der Dorfbrunnen von Blumau und die ÖBB-Bohrung von Bierbaum.

## 2.4. Artesischer Horizont von Obgrün

### 2.4.1. Lage der artesischen Bohrungen

In Obgrün bestehen 6 artesische Hausbrunnen (Fig. 13), die einen Grundwasserkörper in einer Tiefe von 20 - 25 m aufschließen (O 1a, O 1b, O 6, O 7, O 9 und O 27). Außer diesen wurden im Südostteil des Ortes drei Bohrungen nach artesischem Wasser abgeteuft (42, 118 und 187 m tief), die den seichtliegenden Horizont weder durchstoßen noch berühren. Schon aus dieser eher trivialen Erkenntnis ist eine Fließrichtung in diesem Aquifer parallel zum heutigen Talverlauf auszuschließen.

In der Umgebung der Feistritzbrücke westlich des Ortskernes von Obgrün existiert eine Anzahl von Versuchsbohrungen, die für verschiedene Zwecke abgeteuft wurden (Fig. 13). Bei der von der Rohöl-AG südöstlich von Schloß Feistritz niedergebrachten Bohrung (R 2396) konnte in 23 m Tiefe im Liegenden pannoner Tone wasserführender Kies angetroffen werden. Über dessen Mächtigkeit gibt die Bohrung keine Auskunft, der Vorstoß wurde bei 24 m beendet.

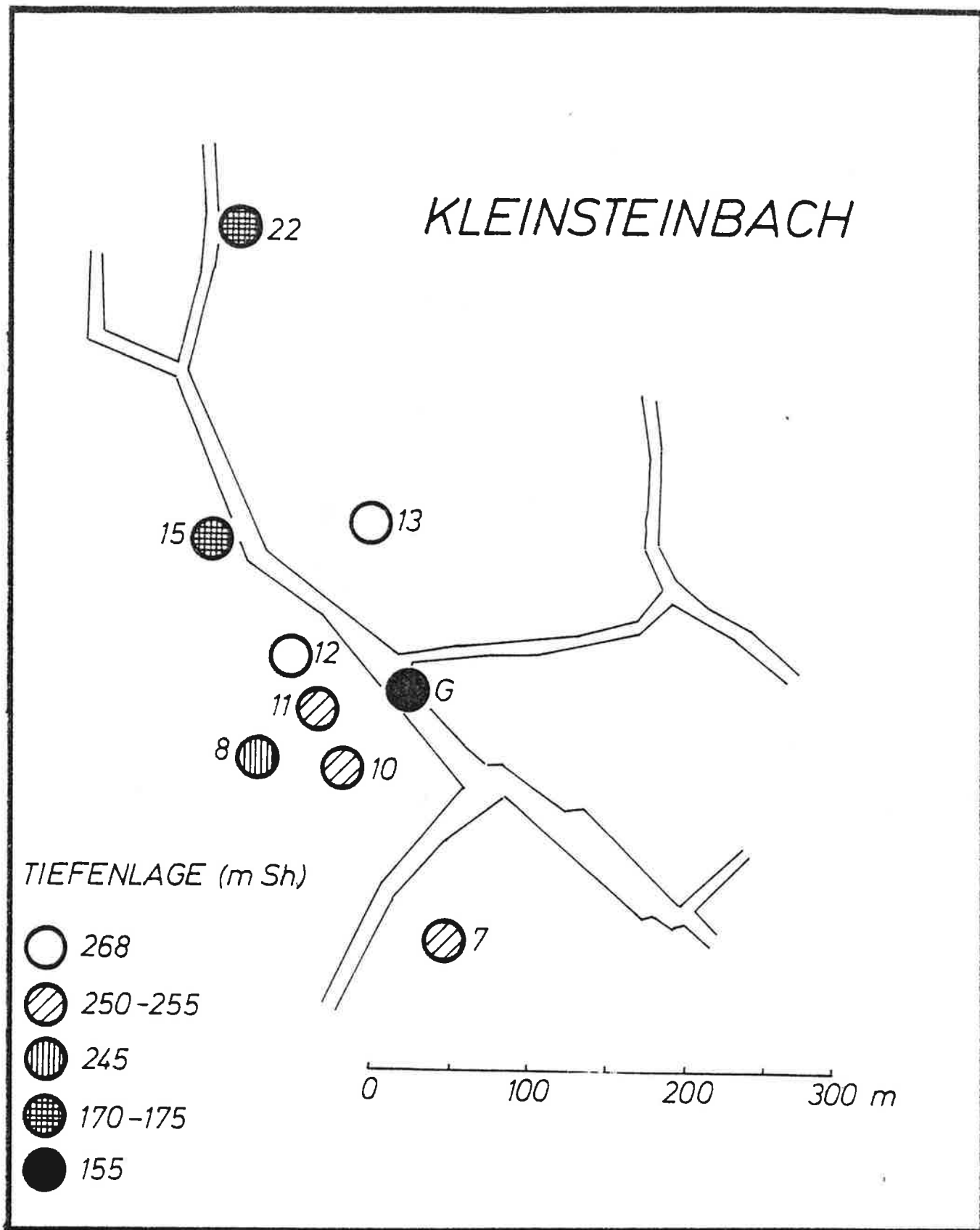


Fig. 12: Tiefenlage artesischer Brunnen in Kleinsteinbach

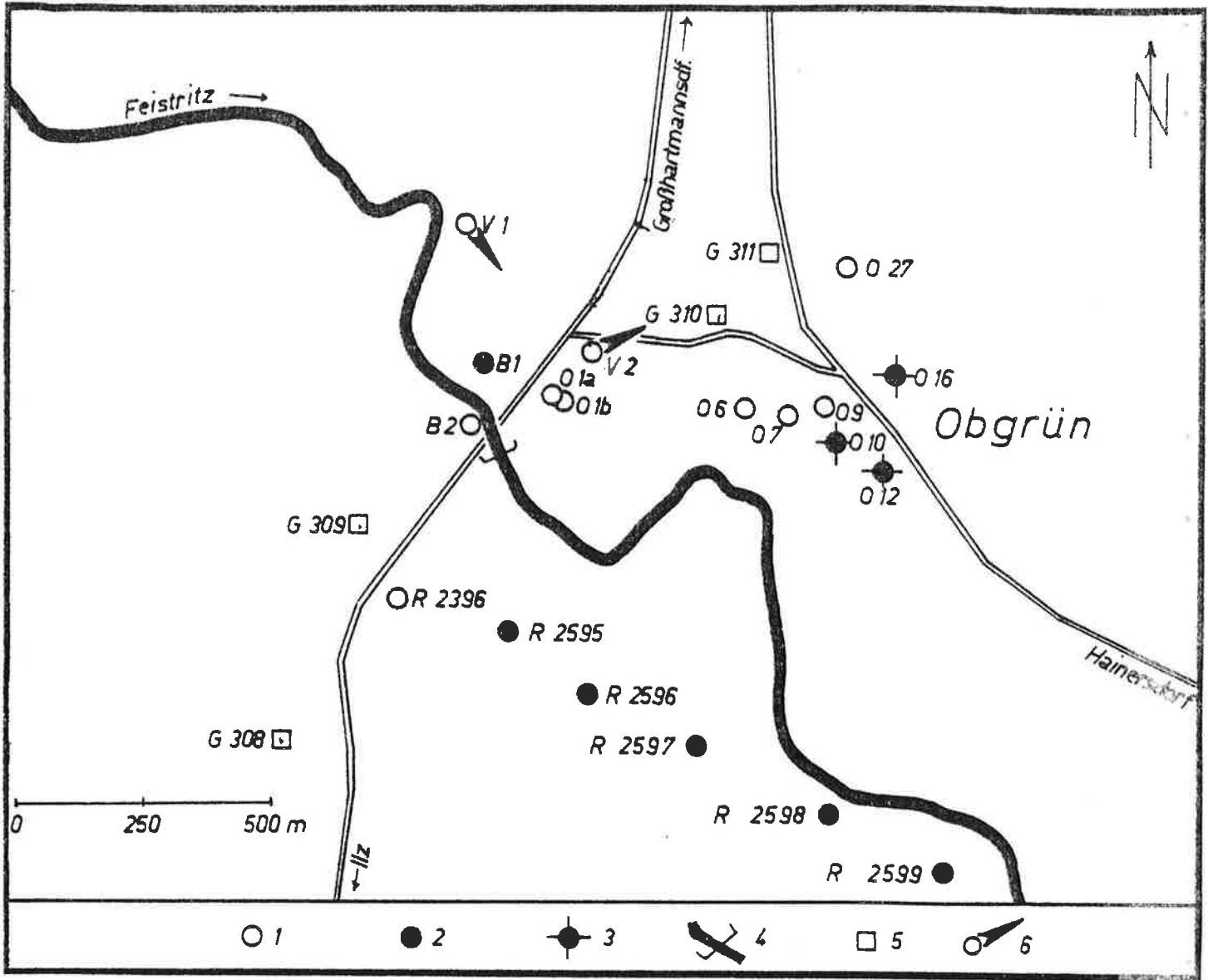


Fig. 13: Grundwasseraufschlüsse im Raum Obgrün

- 1 = Bohrungen, die in 20 - 25 m Tiefe artesisches Wasser erschroten
- 2 = Bohrungen, 12 - 17 m tief
- 3 = tieferreichende Bohrungen, die den seichtliegenden artesischen Horizont nicht treffen
- 4 = Flußpegel
- 5 = Beobachtungsbrunnen des seichtliegenden Grundwassers
- 6 = Fließrichtungsmessungen

Im Rahmen des Brückenbaues über die Feisritz ließ das Amt der Steiermärkischen Landesregierung zwei Bohrungen abteufen, deren Lage in Fig. 13 (B 1, B 2) ersichtlich ist. Bei der Bohrung 1 wurden bis in eine Tiefe von 17,20 m unter quartären Ablagerungen nur tertiäre Tone erbohrt. Hingegen stieß man bei der Bohrung 2 in 18,60 m Tiefe auf wasserführende Sande. Das unter Spannung stehende Wasser stieg im Bohrröhr über Terrain auf. Beide Versuchsbohrungen wurden nach Abschluß der Arbeiten wieder verfüllt.

Ausgehend von den Aufnahmeergebnissen artesischer Hausbrunnen in Obgrün und den Sondierbohrungen B 2 und R 2396, versuchte die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz durch das Abteufen zusätzlicher Bohrungen, die denselben seichtliegenden artesischen Horizont treffen sollten, einen Einblick in die hydrogeologischen Verhältnisse dieses Raumes zu gewinnen. Zu diesem Zwecke brachte man vorerst die Bohrung V 1 nieder, nämlich in der Nähe des Feistritzknies etwa 350 m nördlich der Feistritzbrücke im Gemeindegebiet von Großhartmannsdorf (Fig. 13). Die fachliche Ausbeute schien vorerst gering, da in einer Tiefe zwischen 25,20 und 25,50 m nur zwei dünne Sandschichten angefahren wurden, die gespanntes Grundwasser führen. In der Folge zeigte es sich aber, daß die Wasserspiegelschwankungen in dieser Bohrung sowohl im Vergleich zum Fluß als auch zur Bohrung Obgrün 2 (V 2) äußerst aussagekräftig sind.

Die zweite Bohrung (V 2) wurde unmittelbar an der Straßengabelung nach Obgrün abgeteuft, wo man in einer Tiefe von 21,30 m Sande antraf, die bei 22 m von einer etwa 2 m mächtigen Kiesschicht abgelöst werden. Das unter Druck stehende Wasser spiegelt knapp über Terrain auf.

Somit ergibt die Lage der Bohrungen selbst schon einen gewissen Hinweis auf den Verlauf des Aquifers (Fig. 13).

Es ist deutlich eine Querung des heutigen Tales zu erkennen, wenn man jene Bohrungen außer Acht läßt, die wegen zu geringer Tiefe den Horizont nicht erreichen (B 1, R 2595, R 2596, R 2597, R 2598, R 2599). Die Lage der drei artesischen Hausbrunnen in Obgrün, die den ca. 25 m tiefen Aquifer nicht berühren (O 10, O 12 und O 16), ist auf den Südostteil des Ortes beschränkt.

#### 2.4.2. Hinweise auf das Einzugsgebiet

Die Ergebnisse der Fließrichtungsmessungen in V 2 (s. Kap.3) lassen das Einzugsgebiet dieses artesischen Horizontes im SW von Obgrün vermuten, jedoch darf eine Richtungsänderung der Schotterauffüllung von der Querung des Feistritztales grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden. In diesem Zusammenhang gewinnt die Feststellung eines Wasserverlustes der Feistritz im Abschnitt zwischen Kroisbach und Obgrün an Bedeutung (H. ZOJER, 1972). Ob dieser Wasserverlust mit dem Obgrüner Horizont in Verbindung gebracht werden kann, ist schwer zu beurteilen, zumal die wasserführende Rinne von 15 - 20 m mächtigen Tonsedimenten im Bereich ihrer Feistritztalquerung überlagert wird. Für den Fall einer Eigenständigkeit des Aquifers, den die Bohrung V 1 aufschließt (Tonüberdeckung 21 m), kann der Verlust von Oberflächenwasser aber ohne Zweifel als Alimentationsmöglichkeit in Betracht gezogen werden.

Die Annahme eines Einzugsgebietes südwestlich von Obgrün veranlaßte eine hydrogeologische Detailkartierung des tertiären Hügellandes im östlichen Abschnitt zwischen den Flüssen Ilz und Feistritz. Dieser Bereich wird im Hangenden von klastischen Ablagerungen des tieferen Unterpannon aufgebaut. Aufgrund dieser Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß die oben angeführten Schottervorkommen südwestlich von Obgrün nur örtlich verbreitet sind. Die

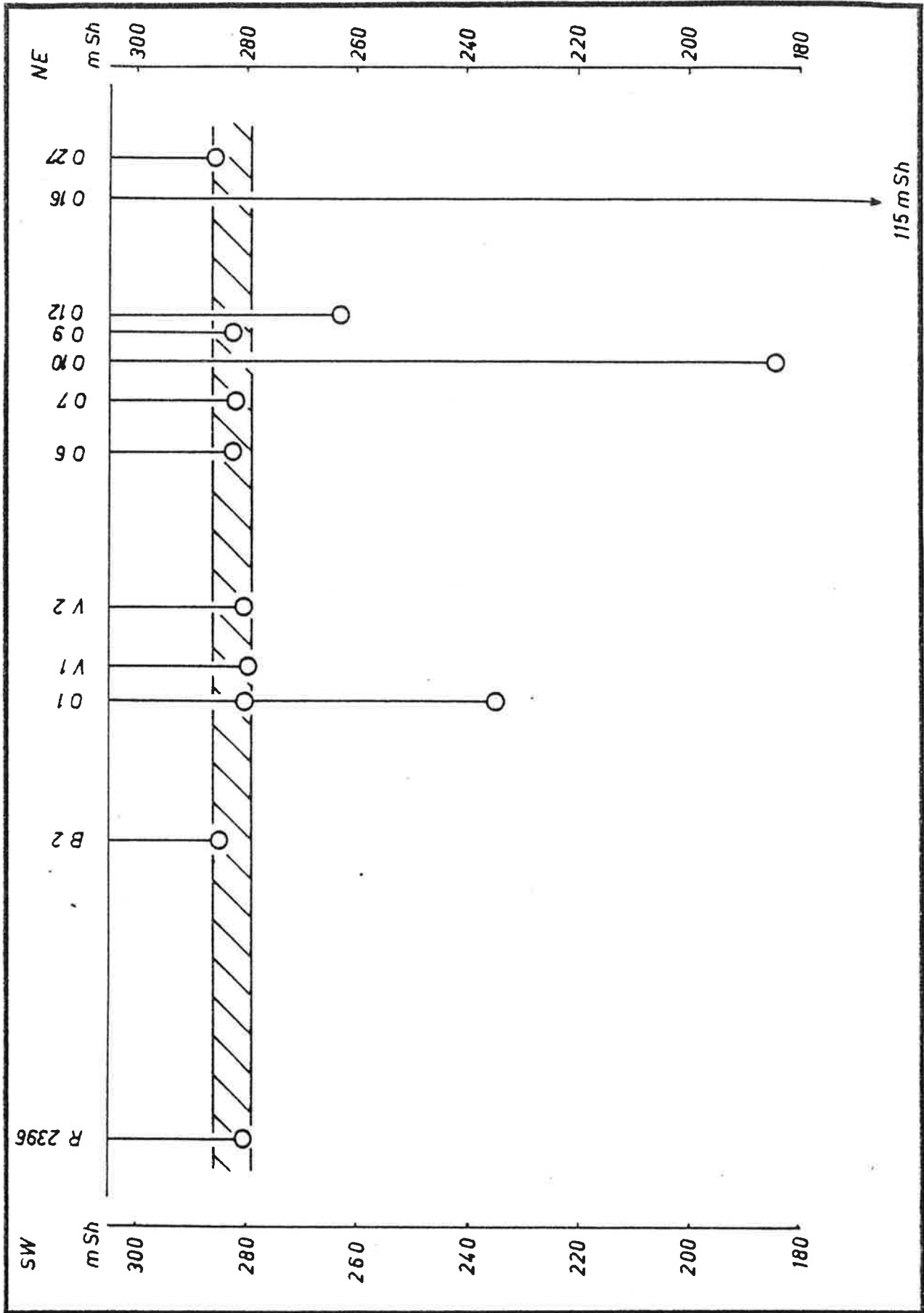


Fig. 14: Tiefenverteilung der artesischen Bohrungen im Raum Obgrün

Hauptaufschlußgebiete liegen im Nestelbachtal etwa 2 km talaufwärts von Nestelbach, in der Umgebung des Schlosses Uhlheim und am linken Talausgang des Gschmaierbaches in das Ilztal (Fig. 15). Die Schichtfolge ist beim Aufschluß im Nestelbachtal besonders klar ersichtlich. Die Basis wird durch äußerst grobe Komponenten - z.T. mehr als faustgroß - gebildet. Darüber lagern, in immer feineren Strukturen, Feinkiese, Grobsande und Mittelsande. Der gesamte Körper erreicht eine Mächtigkeit von mehr als 20 m. Über die Aufschüttungsrichtung kann kaum etwas ausgesagt werden, W.D. SKALA (1967) erhielt in seinen lithologischen Untersuchungen an den Sanden der Kirchberger-Karnerberger Zwischenserie für diesen Bereich keine einheitliche Akkumulationsrichtung. Von dieser Seite ist daher ein Zusammenhang der Schotter im Aufschluß Nestelbachtal mit jenen in der Bohrung V 2 nicht auszuschließen. Zwar fehlen im Feistritztal die außerordentlich groben Schotteranteile, wie sie an der Basis des Nestelbacher Aufschlusses festzustellen sind, doch kann dies durchaus auf die nachlassende Transportkraft des Flusses zurückzuführen sein.

Die Ablagerung dieser grobklastischen Sedimente ging mit einer Trockenlegung des Steirischen Beckens einher. Ob die Aufschüttungsrichtungen der Annahme von A. WINKLER-HERMADEN (1955) entsprechen, ist für den gegebenen Fall noch nicht erwiesen. Da im allgemeinen gerade bei rinnenförmigen Grundwasserleitern die Grundwasserbewegung zum Einfallen der Schichten hingerrichtet ist, wäre einer nordöstlichen Strömung im artesischen Aquifer von Obgrün erhöhte Bedeutung beizumessen. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, daß der Obgrüner Schotterhorizont ein Nebenarm einer intrapannonischen Großrinne ist oder daß die Richtung nicht einheitlich vorgegeben ist.

All diesen Überlegungen sind schließlich noch zwei Punkte hinzuzufügen, die auf einen direkten akkumulativen Zusammen-



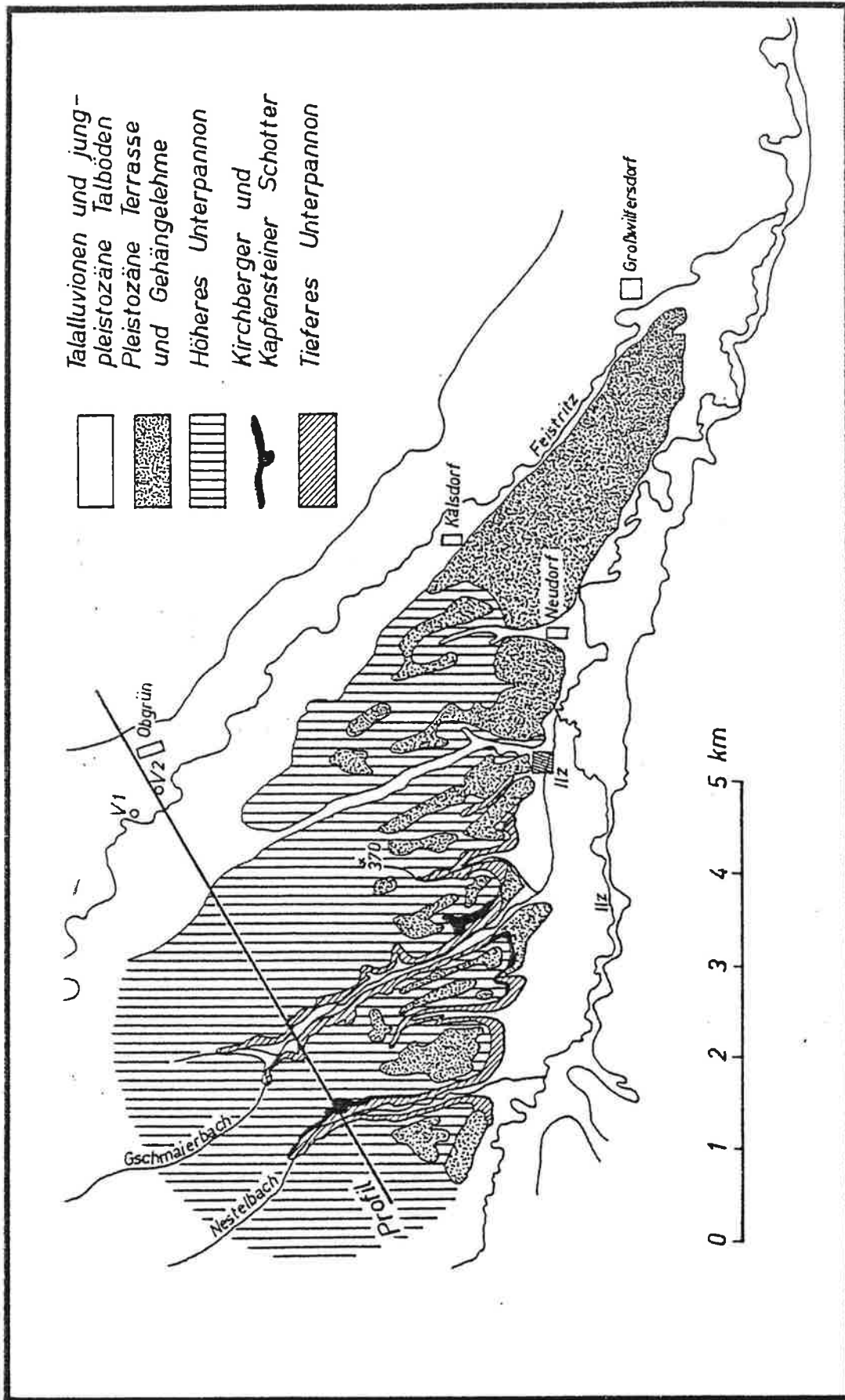


Fig. 15: Geologische Kartenskizze des Raumes Ilz - Obrgrün (nach K. KOLLMANN, 1964)

hang der Aufschlußschotter im Nestelbachtal mit den erbohrten Schottern von Obgrün (V 2) hinweisen:

1. Die groben Basisgerölle im Nestelbachtal bedingen ein relativ großes Gefälle der Aufschüttungsbasis. Dies wäre in Richtung Obgrün mit etwa 1,5 % gegeben (Fig. 16). Diesem Wert sei das Gefälle von 0,4 % des heutigen unteren Feistritztales gegenübergestellt.
2. Im Talboden des Gschmaierbachtals wurden die Schotter derselben Serie wie im Nestelbachtal bis vor wenigen Jahren für die Bautätigkeit genutzt. Da das Einzugsgebiet des Gschmaierbaches ausschließlich im feinklastischen Tertiär liegt, ist eine Verwechslung mit Quartärschottern auszuschließen. Die Lage der drei Aufschlüsse veranschaulicht Fig. 16. Des weiteren sei auf die rapide Abnahme der Schottermächtigkeit in Richtung der Aufschüttungsachse hingewiesen, gewiß auch ein Indikator für ein großes Gefälle des Akkumulationsmaterials.

## 2.5. Artesischer Horizont von Großwilfersdorf-Blumau

Untersuchungen der Abflußverhältnisse der Feistritz nach Verlassen des kristallinen Grundgebirges wurden bereits in den späten Sechzigerjahren durchgeführt (H. ZOJER, 1972). Diese Studie zeigt, daß in einigen Bereichen des unteren Feistritztales zeitweise enorme Wasserverluste auftreten, die fast ausschließlich der Versickerung in den Untergrund anheimfallen.

### 2.5.1. Talaufbau im Bereich von Großwilfersdorf

Eine wesentliche Hilfestellung zur Kenntnis des Aufbaues die-

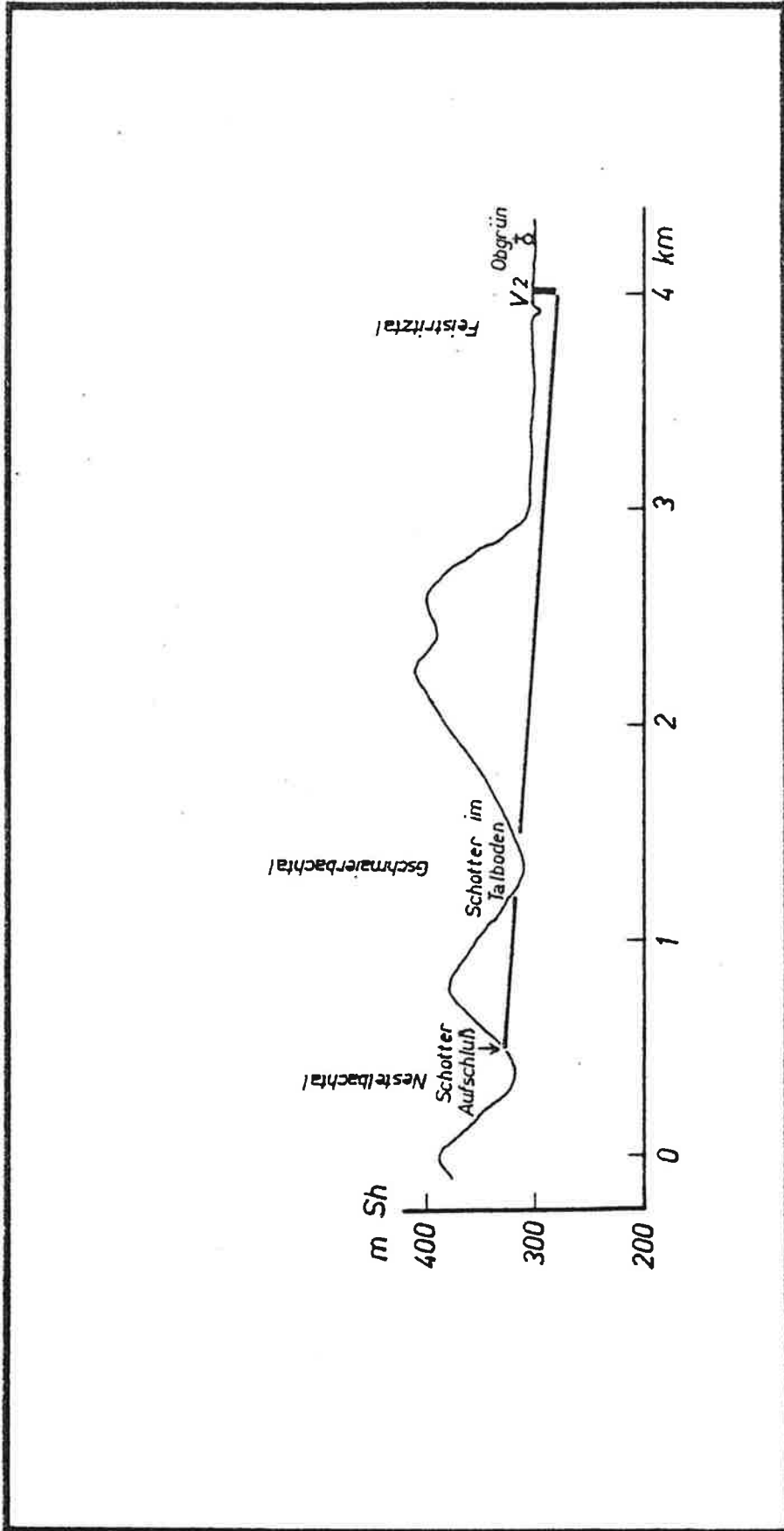


Fig. 16: Profil Nestelbachtal - Obgrün

ses Raumes bieten die Bohrprofile der Rohöl-AG (Fig. 6). Neben einer lokalen Abweichung in der Lage der Quartärgrenze zum unterliegenden Tertiär (Bohrung Nr. 2598, 2604, 2612) scheint bei Großwilfersdorf ein Kieshorizont in die Tiefe einzufallen (Bohrungen Nr. 2626 - 2631). Bei den Bohrungen Nr. 2626 - 2630 treten plötzlich Kiese in einer Mächtigkeit von 12 m auf. Das Profil der Bohrung Nr. 2631 zeigt eine zwischen den Schottern eingezwängte, etwa 2 m dicke Tonmergelschichte. Das weist darauf hin, daß die 12 m mächtigen Schotter aus den Bohrungen Nr. 2626 - 2630 nicht allein dem Quartär entstammen, sondern nur der obere Teil (Korndurchmesser 30 - 70 mm). Die liegenden Kiese (Korndurchmesser 15 - 30 mm) müssen dagegen als Teil einer tertiären Ablagerung angesehen werden.

Die Betrachtung der jüngsten Genese dieses engeren Bereiches um Großwilfersdorf läßt wesentliche Schlüsse zu. Der pannone Kieshorizont wurde von der Feistritz während ihrer letzten quartären Erosionsphase aufgeschlossen, zum Teil abgetragen und in der folgenden, auch heute noch andauernden Akkumulationsphase mit rezenten Grobablagerungen überdeckt. Weiter talabwärts ist die Quartärbedeckung wieder sehr einheitlich.

Es muß angenommen werden, daß die Feistritz an diesen Horizont Wasser abgibt (H. ZOJER, 1972). Durch die Schußbohrungen der Rohöl-AG wurde der Aquifer zweifellos nicht der Länge nach angefahren, so daß die Strömungsrichtung nicht jener der Feistritz oder des seichtliegenden Grundwassers entspricht. Falls dieser Horizont von den Bohrungen im rechten Winkel gequert wird, besitzt er eine Breite von 1000 bis 1500 m, wodurch die Möglichkeit einer nennenswerten Wasseraufnahme gegeben ist. Die Anlage dieser tertiären Rinne läßt einen Vergleich mit dem gespannten Horizont von Obgrün zu, der in etwa derselben absoluten Höhe liegt. Überträgt man die Fließ- und Aufschüttungs-

richtung des Obgrüner Aquifers nach Großwilfersdorf und berücksichtigt man dessen Gefälle, so weist der bei Großwilfersdorf auftauchende tertiäre Schotterhorizont in das untere Safental, wo er im Gebiet von Bierbaum und Blumau in etwa 60 m Tiefe liegen müßte. Tatsächlich gibt es in Blumau eine Reihe ca. 60 m tiefer artesischer Brunnen.

### 2.5.2. Artesische Brunnen in Blumau

In Blumau sind 10 artesische Brunnen bekannt (2 sind versiegt; Fig. 17), deren wichtigste Parameter in Tab. 3 enthalten sind.

Tab. 3: Die artesischen Hausbrunnen in Blumau

Hausnummer	Besitzer	Tiefe (m)	Schüttung (l/s)	Temperatur (°C)
	Gemeinde	110	0,17	12,6
7	Hauptmann J.	60	0,22	12,4
8	Meister Josef	64	0,06	11,8
9	Csecsinovits F.	64	0,05	12,3
10	Groß F.	64	0,05	12,6
11	Meister Johann	42	0,02	12,0
	ÖBB	60	0,14	12,4

Diese Aufstellung zeigt, daß 6 Brunnen ausschließlich einen Horizont in etwa 60 m Tiefe nutzen. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß der in Großwilfersdorf auskeilende Grundwasserhorizont in Verbindung mit dem 60 m - Aquifer von Blumau steht.

Somit schütten die artesischen Brunnen in Blumau gemeinsam weniger als 1 l/s. Den Temperaturmessungen ist zu entnehmen, daß auch der 110 m tiefe Dorfbrunnen den Hauptaquifer aufschließt und infolge der fehlenden Tiefenverrohrung Mischwasser führt.

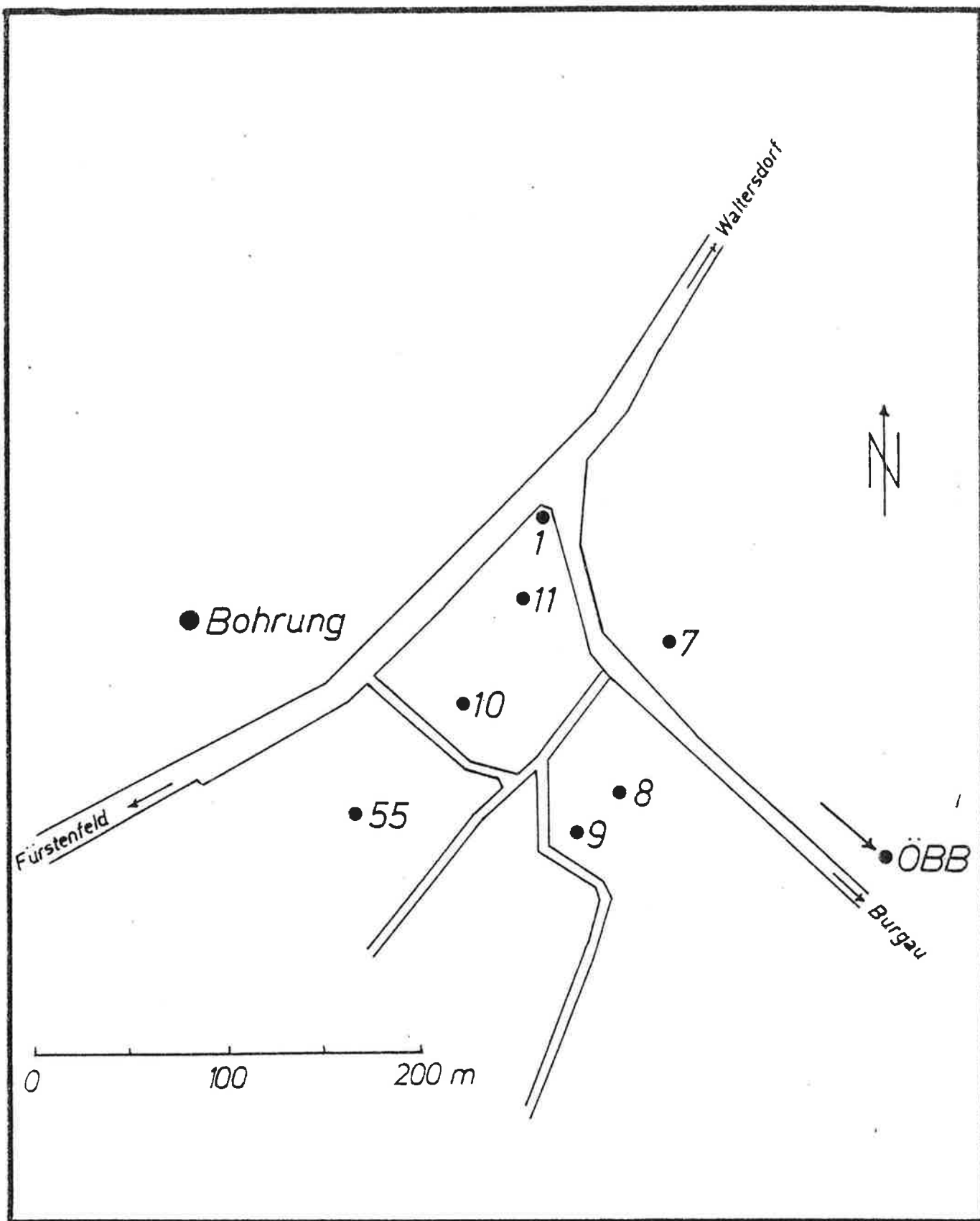


Fig. 17: Lage der artesischen Bohrungen in Blumau

Dieser hier angefahrne gespannte Grundwasserhorizont in ca. 60 m Tiefe dürfte im unteren Safental weiter verbreitet sein: In Schwarzmannshofen existieren zwei 55 m tiefe Bohrungen und von den 6 artesischen Brunnen in Bierbaum sind 4 zwischen 55 und 65 m tief.

### 2.5.3. Verbreitung des Horizontes

Aufgrund des Studiums der untiefen RAG-Bohrungen im Feis-tritztal und der Lage der artesischen Hausbrunnen in Blumau wurden drei Probebohrungen in die tertiäre Flußrinne abgeteuft (Tab. 2; Fig. 18). Ihr Profil ist in Fig. 19 dargestellt.

Die Testbohrung Großwilfersdorf (TG) durchörterte bis 4 m Tiefe unter einer Lehmdecke Mittel- und Feinkiese. Unter diesem seichtliegenden ungespannten Grundwasserhorizont folgt eine nahezu 11 m mächtige Tonlage (4,00 bis 14,90 m). Diese Schicht ist das Hangende jenes Kieshorizontes (14,90-16,90 m Feinkies, 16,90 - 21,20 m Mittel- und Grobkies), der die pannonische Flußrinne repräsentiert. Die ab 21,20 m folgende Tonlage (durch die Bohrung bis 24,00 m aufgeschlossen) bildet den liegenden Stauhorizont für das gespannte Grundwasser.

Die Schichtfolge der Bohrung Jobst zeigt unter einer geringmächtigen Kies-Sand-Schicht (1,60 - 4,70 m) bis 33,40 m eine mächtige Tonlage mit einem eingeschalteten Kohleflöz. In der Teufe von 33,40 bis 35,50 m findet sich die Fortsetzung des in der Großwilfersdorf aufgeschlossenen Kieskörpers der pannonischen Flußrinne. Die geringe Mächtigkeit läßt annehmen, daß die Bohrung die tertiären Flußschotter lediglich in den Randbereichen der überdeckten Rinne traf.

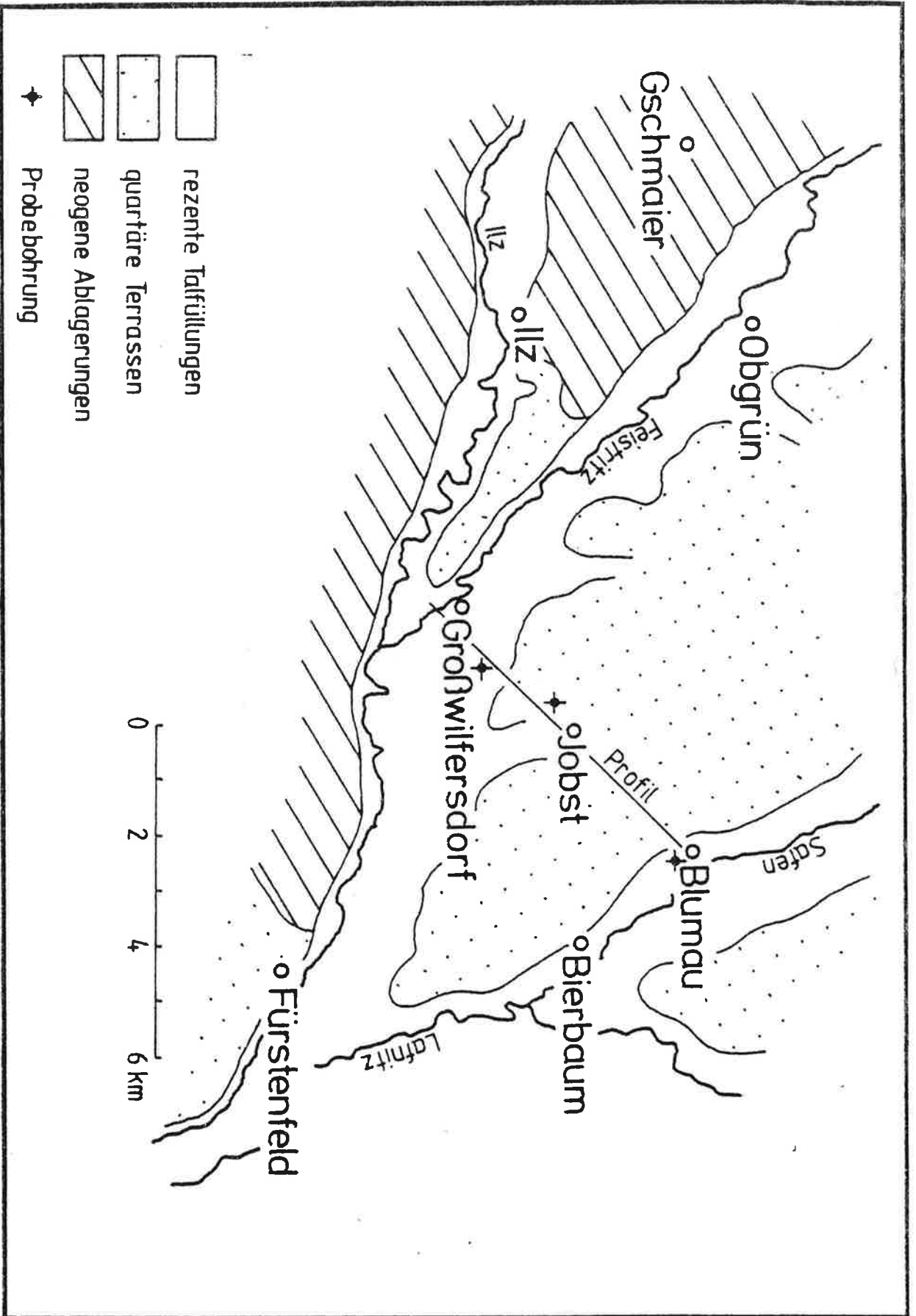


Fig. 18: Geologische Lageskizze des Horizontes von Blumau  
(entlang des Längsprofiles)



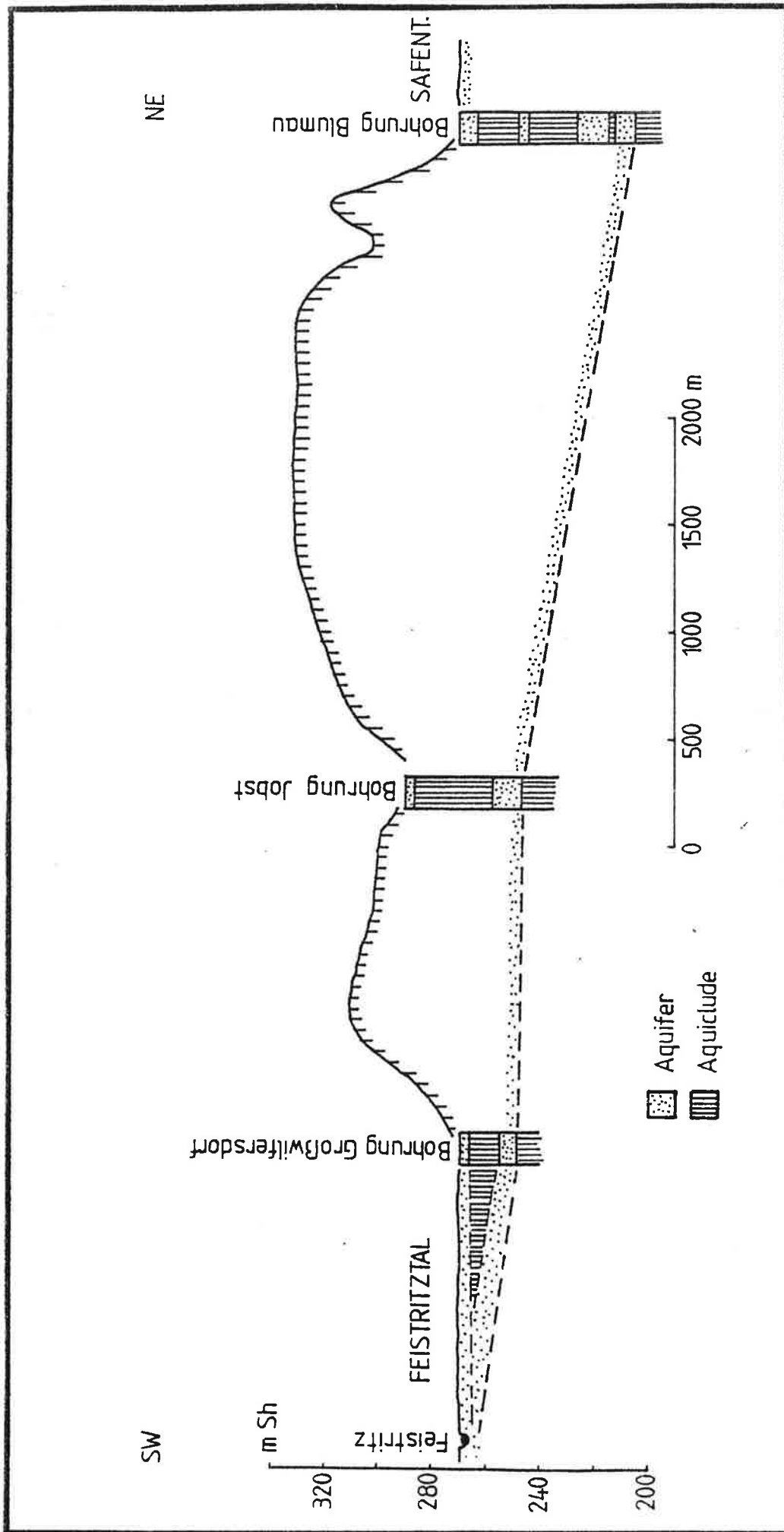


Fig. 19: Hydrogeologischer Längsschnitt des Horizontes von Blumau

Beim Vortrieb der Bohrung Blumau wurden in den oberen Bereichen bis ca. 46 m Durchörterungen der rezenten Aulehme und -sande größtenteils Tone mit einzelnen feinsandigen Schlufflagen durchfahren. Zwischen 49 und 57 m tritt ein fein- bis mittelkörniger Sand auf, der wasserführend ist. Im Liegenden dieser Sandfolge überwiegen wieder Tonsedimente mit schluffig-sandigen Einlagen.

#### 2.5.4. Hinweise auf das Infiltrationsgebiet des Blumau Aquifers

Anknüpfend an die Kenntnis des bei Großwilfersdorf auskeilenden Aquifers wurde von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz ein Beobachtungsnetz des seichtliegenden Grundwassers in diesem Talbereich aufgebaut, das über das bestehende der Hydrographischen Landesabteilung hinausgeht. Es muß angenommen werden, daß durch den Verlust von Flußwasser der Feistritz das infiltrierende Wasser entweder direkt vom Oberflächengerinne (Feistritz) oder über den seichtliegenden Grundwasserkörper in den tertiären Aquifer eindringt. In jedem Fall ist mit einer Beeinflussung des seichtliegenden Grundwassers zu rechnen.

Fig. 20 zeigt den Verlauf der Grundwasserisohypsen aus Messungen vom 4. März 1977, einem Zeitpunkt eines extremen Niederwassers. Der Winter vorher war sehr schneearm, so daß der Schmelzwasserabfluß kaum merkbar ablief. Unter solchen Verhältnissen gibt üblicherweise der seichtliegende Grundwasserkörper Wasser an den oberirdischen Vorfluter ab, weil im Sand- und Kieskörper eine bessere Speicherung möglich ist und daher hier der Wasserspiegel wesentlich langsamer abfällt als im Oberflächengerinne. Wie aber Fig. 20 vermittelt, gibt der Fluß auch zu dieser Zeit Wasser an den Untergrund in östlicher Richtung ab. Gerade dort

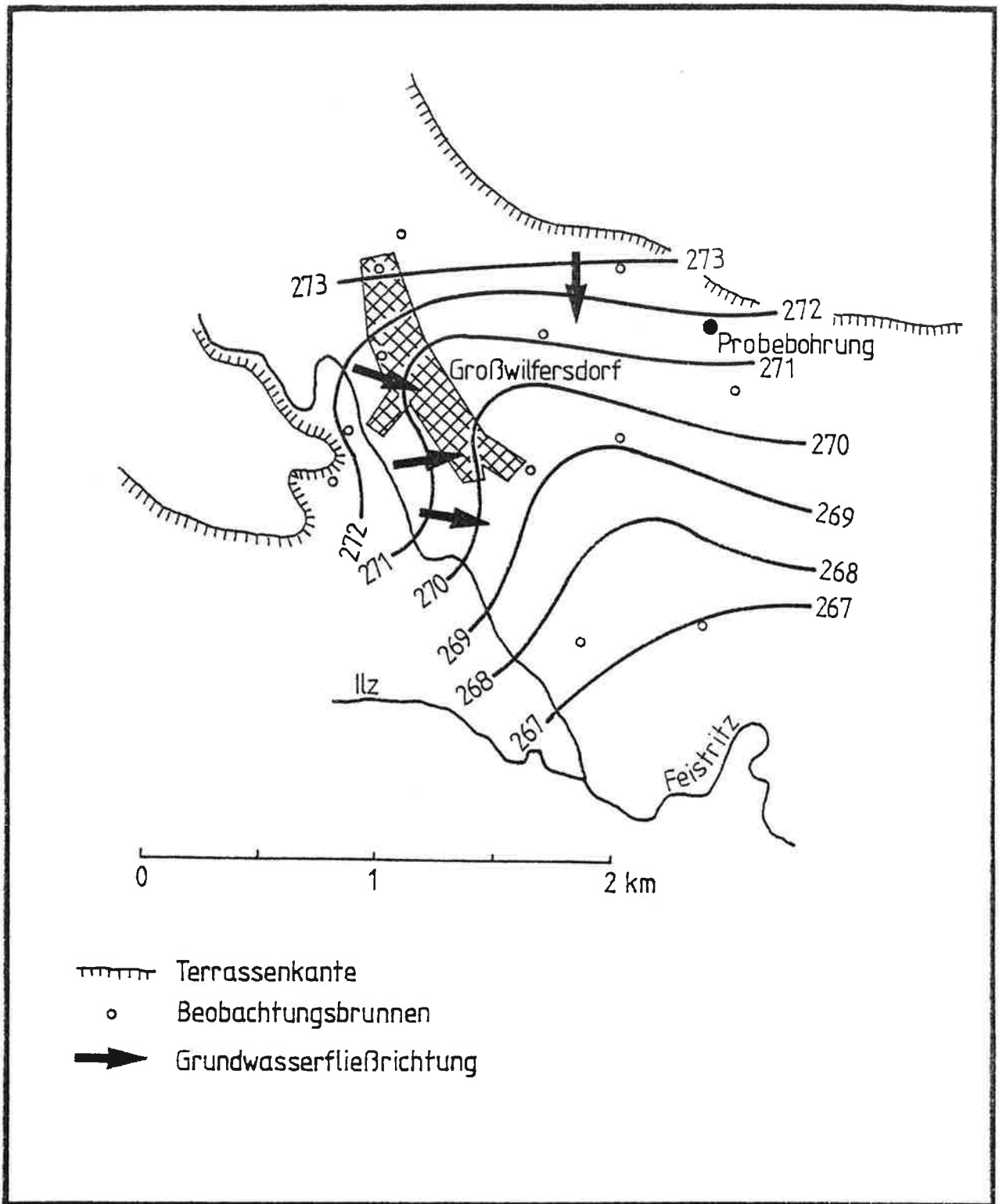


Fig. 20: Isohypsenplan des seichtliegenden Grundwassers bei Großwilfersdorf vom 4. März 1977

keilt die im Feistritztal auftauchende Rinne aus. Somit ergibt sich ein zwingender Beweis, daß dieser im Tertiär ausgebildete Grundwasserhorizont nicht unmittelbar durch Niederschläge, sondern durch Oberflächen- und (oder) seichtliegendes Grundwasser angereichert wird.

Ähnliche Strömungsverhältnisse des seichtliegenden Grundwassers stellen sich auch bei höherem Wasserspiegel ein, in solchen Situationen ist die Wasserabgabe durch den Fluß noch krasser ausgebildet. Es ist aber anzunehmen, daß nicht die gesamte Menge des bei Großwilfersdorf versickernden Flußwassers in die Tiefe abströmt, sondern über das seichtliegende Grundwasser als Uferfiltrat wieder in die Feistritz zurückfließt.

### 3. BOHRLOCHMESSUNGEN

Die geologische Aufnahme von Bohrungen kann zweifellos durch Bohrlochmessungen nicht ersetzt werden, doch bieten sie eine ideale Ergänzung, zumal durch die verschiedenen Messungen auch die Sedimente in der Umgebung selbst angesprochen werden, was oft zu weiterreichenden Schlüssen führen kann.

#### 3.1. Messungen im offenen Bohrloch

Viele Bohrlochmessungen wurden in der Oststeiermark durch H. JANSCHKE durchgeführt: Jobst 1978, Hainersdorf 1979, Großsteinbach II 1980, Kroisbach und Großhartmannsdorf II 1981. Der Autor faßte die Ergebnisse 1982 in einer Übersicht zusammen. Aus der Temperatur, dem Eigenpotential und dem elektrischen Widerstand wurden Teufenabschnitte mit einer größeren Durchlässigkeit erfaßt. Tab. 4 gibt eine Gegen-

Tab. 4: Charakterisierung von Bohrlochmessungen (von H. JANSCHKEK)  
im Vergleich mit geologischen Bohrprofilen

Bohrung	Teufe (m) nach geol. Profil	Teufe (m) nach Bohr- lochmess.	EP Ab- weichung (mV)	el. Widerst. (m)
Kroisbach	18-22	17-21	-10	50-60
	75-77	28-35 76-81	- 5 -15/-20	30-40 50-55
Großsteinbach II	18-22	18-22	- 5	20
	52-56	52-56	-20	40
Großhartmannsdorf II	19-22	19-22	-20	35
		34-35	- 5	25
	41-64	39-44	-15	25
Hainersdorf	29-36	29-36	-20/-30	80-90
	94-98	93-99	-20/-30	40
Jobst	33-40	31-34	-10	70-80
		37-39	-20	70

überstellung zum geologischen Profil. Für die praktische Seite bringt ein derartiger Vergleich eine Hilfestellung zur Fixierung von Filterstrecken im Zuge der Sondenkompletierung. In Tab. 4 sind auch Abschnitte vermerkt, die in der geologischen Aufnahme nicht als Aquifere ausgewiesen sind und aus geophysikalischer Sicht nur geringe Anzeichen guter Aquifereigenschaften aufweisen, wie z.B. in Kroisbach (28 - 35 m) und Großhartmannsdorf II (34 - 35 m). Eine Verminderung des Eigenpotentials um lediglich 5 mV gibt nur eine geringfügige Verbesserung der nutzbaren Porosität an.

H. JANSCHKEK (1982) weist auf der anderen Seite auf Korrelationsschwierigkeiten hin. So wurden bei den Bohrungen Kroisbach und Großhartmannsdorf I durch Gammalogs artesische Horizonte festgestellt, die jedoch nach dem geologischen

Profil als tonige Schluffe zu definieren wären, also eher Wasserstauer sind. Dies zeigt, daß gerade in lithologisch stark wechselnden Folgen, wie etwa im Pannon, die Teufenkorrelation schwierig und daher vorsichtig zu beurteilen ist.

### 3.2. Messungen der Grundwasserbewegung bei den Bohrungen Obgrün durch die Einloch-Verdünnungsmethode

In der höchstwahrscheinlich im Zentrum des rinnenförmigen Obgrün Aquifers niedergebrachten Bohrung V 2 wurde von der BVFA Arsenal mittels Einlochmessung die Filtergeschwindigkeit und Fließrichtung des gespannten Grundwassers bestimmt. Es erfolgte jeweils eine einmalige Impfung der Wassersäule etwa in der Mitte des ca. 2 m mächtigen Grundwasserleiters. Als Filtergeschwindigkeit errechnete man einen Wert von  $1,8 \cdot 10^{-4}$  m/s, was 15,5 m/d entspricht. Die horizontale Fließrichtung des artesischen Wassers konnte mit  $60^\circ$ N bestimmt werden.

Ähnliche, z.T. aber auch abweichende Ergebnisse brachten Messungen, die vom Institut für Radiohydrometrie der GSF München durchgeführt wurden. Die Filtergeschwindigkeit wurde mit 3 cm/d bestimmt. Bei der Erfassung der Fließrichtung, die in 8 Punkten zwischen 22 und 24 m Tiefe gemessen wurde, traten Vertikalströmungen im zentralen Bereich der Abpackerung auf. Unter Berücksichtigung der reneganten Strömungsverhältnisse konnte der von der BVFA Arsenal bestimmte Richtungswert von  $60 - 70^\circ$ N bestätigt werden (Fig. 13; Fig. 21).

Bei den Untersuchungen in der Bohrung V 1 ergaben sich bei der Richtungsmessung in den verschiedenen Tiefen des Horizontes wieder keine einheitlichen Werte. Berücksichtigt

man die unterschiedliche Permeabilität im Aquifer (eine dünne Tonlage trennt zwei Sandschichten), erhält man eine Fließrichtung etwa zwischen 130 und 160°N. Sie liegt damit interessanterweise etwa im rechten Winkel zur Fließrichtung in der Bohrung V 2. Das läßt den Schluß zu, daß entweder die Strömung von V 1 zur Längsachse der Rinne zielt, oder daß es sich um einen eigenständigen Aquifer handelt.

Die Fließrichtungsmessungen haben erwiesen, daß der seichtliegende gespannte Grundwasserhorizont von V 2 das Tal quert und damit eindeutig dokumentiert wird, daß artesische Horizonte - in diesem Fall sogar ein ziemlich oberflächennaher - in keinem Zusammenhang mit dem heutigen Talverlauf stehen müssen.

#### 4. DRUCKSPIEGELMESSUNGEN

Untersuchungen artesischer Wässer enthalten durchwegs auch die Messung des Wasserspiegels. Vergleiche mit anderen artesischen Aquiferen sowie mit Oberflächen- und seichtliegendem Grundwasser können hydraulische Verbindungen aufzeigen. Die Reaktion des Wasserspiegels gespannter Horizonte auf hydrologische Ereignisse - die von der Oberfläche ausgehen - kann Hinweise auf Aquifereigenschaften genereller Art bringen, sie kann auf der anderen Seite jedoch keinen Aufschluß über die Geschwindigkeit der Fließbewegung im Grundwasserleiter geben.

Diesen längerfristigen Schwankungen des Druckwasserspiegels stehen kurzzeitige gegenüber: Sie korrelieren mit den Veränderungen des Luftdruckes, da z.B. ein hoher Luftdruck auf die frei ausspiegelnde Wassersäule einen gewissen Gegen- druck ausübt. Zeitlich noch kürzere Wasserspiegelschwankungen werden in der Regel durch temperaturbedingte Ausdehnung des Materials (Rohre, Meßgeräte etc.) verursacht.

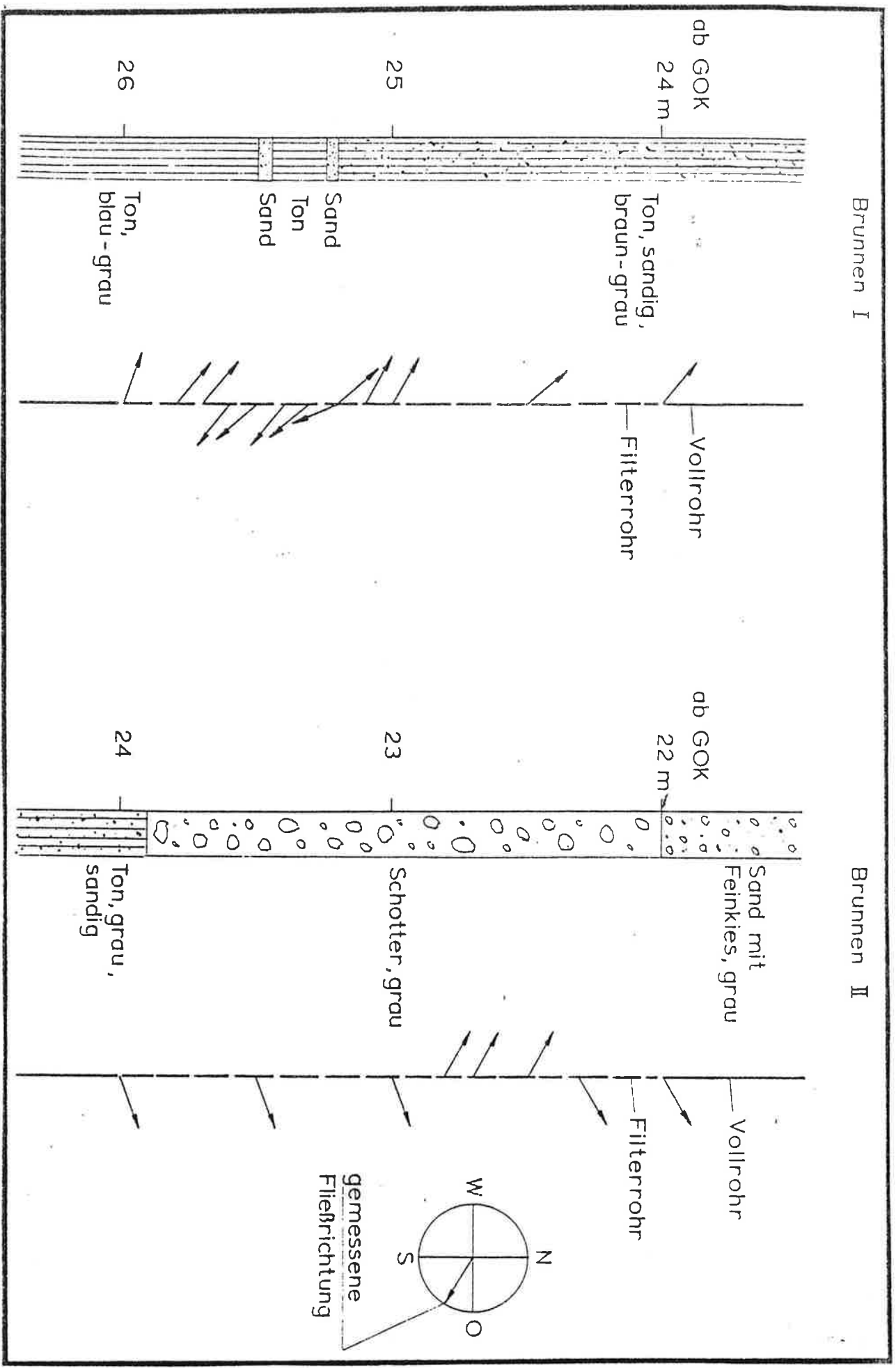


Fig. 21: Ergebnisse der Fließrichtungsmessungen bei den Bohrungen I und II in Obgrün (V 1, V 2; aus: Bericht des Institutes für Radiohydrometrie der GSF München, 1972)



In den 60-er Jahren wurde durch die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz mit der automatischen Registrierung artesischer Wasserspiegel begonnen. So war es möglich, an den Bohrungen der Molkerei in Großwilfersdorf sowie am Gemeindebrunnen in Altenmarkt zeitweise Aufzeichnungen vorzunehmen.

#### 4.1. Aquifer von Obgrün

Die Messung der Druckspiegelschwankungen bei den artesischen Bohrungen V 1 und V 2 sowie deren Vergleich mit den Spiegelschwankungen des Oberflächen- und des seichtliegenden Talgrundwassers gibt im Zusammenwirken mit den Niederschlagswerten Auskunft über das Verhältnis des gespannten Grundwassers zu den langzeitigen meteorologischen Gegebenheiten. Den Untersuchungen liegt die automatische Registrierung des Wasserspiegels bei den beiden Versuchsbohrungen zugrunde.

##### 4.1.1. Oberflächen- und seichtliegendes ungespanntes Talgrundwasser

Die Flüsse des oststeirischen Tertiärlandes - so auch die Feistritz - werden von seichtliegendem Talgrundwasser begleitet. Die Beziehung zueinander äußert sich im allgemeinen in einem Wasseraustausch bei verschiedenen Wasserständen.

Die Anreicherung des seichtliegenden Grundwassers ist grundsätzlich durch drei Faktoren gegeben:

- durch den Vorfluter (bei Hochwasser),
- durch Hangdruckwässer und kleine Seitengerinne, die im Talschotter versickern und
- durch direkte Infiltration von Niederschlägen.

Der nahezu ebene Talboden der Feistritz wird im SW von tertiären Sedimenten und im NE von pleistozänen Ablagerungen flankiert. Die Nordostbegrenzung ist durch die kolluviale Überdeckung verschleppter Terrassensedimente nicht markant ausgeprägt. Die jüngste morphologische Entwicklung äußert sich in einer örtlichen Aufdämmung flußnaher Bereiche, besonders dort, wo die Feistritz etwa in der Talmitte fließt. Diese Tatsache bringt auch einen im Talquerschnitt uneinheitlichen Aufbau der rezenten Akkumulationskomponenten mit sich. So fehlt in der Nähe des Flusses die Lehmüberdeckung fast völlig, während in den Niederungen des Talbereiches die Lehmmächtigkeit zwischen 1 und 3 m schwankt. Hier konnte sich ein grundwasserbedingter Pseudogley ausbilden, da in Zeiten heftiger Niederschläge das seichtliegende Grundwasser manchmal über Terrain aufsteigen kann.

Grundwasserspiegelmessungen wurden bei den Brunnen G 308, G 309, G 310 und G 311 durchgeführt (Fig. 13). Bei G 309 und G 310 ist es möglich, die Grundwasserschwankungen im unmittelbaren Talbereich zu registrieren, während bei G 308 der Einfluß des Hangdruckwassers aus der Südwestflanke des Feistritztales deutlich zu erkennen ist. Der Grundwassergang bei G 311 wird durch ein kleines Oberflächengerinne beeinflusst. Es wurden daher für eine nähere Beurteilung des seichtliegenden Grundwassers in Hinblick auf die gegebene Fragestellung nur die Ganglinien der Schachtbrunnen G 309 und G 310 herangezogen.

Starke Regenfälle und ein dadurch bedingtes Anschwellen der Feistritz wirken sich bei den beiden Beobachtungsstationen markant aus, G 310 reagiert allerdings wesentlich rascher als G 309. Die Ursache dafür dürfte im Wechsel des sedimentpetrographischen Aufbaues des Grundwasserleiters liegen und nicht in der verschiedenen Entfernung vom Fluß. In einem solchen Fall müßte G 309 eher auf Hochwasserspitzen ansprechen.

Einen wesentlichen Beitrag zur Klärung der Alimentation des seichtliegenden Talgrundwassers liefert die zeitliche Einordnung der Schneeschmelze im Spätwinter und Frühjahr. Bei dieser Beurteilung ist eine Trennung von Schmelzperioden in den tieferen Lagen von Abschmelzungen im Gebirge vorzunehmen. Als Beispiel für erstere Ereignisse sollen Vorgänge in der zweiten Februarhälfte 1973 aufgezeigt werden. In beiden Brunnen des seichtliegenden Grundwassers trat in dieser Zeit ein klares Maximum auf. Die Wasserstandsganglinie des Flußpegels Obgrün zeigt hingegen nur einen minimalen Anstieg, bei den weiter flußaufwärts gelegenen Stationen Kroisbach und Unterfeistritz ergaben sich überhaupt keine Veränderungen des Flußwasserstandes. Da zudem diese Periode niederschlagsfrei war, kann das Ansteigen des Grundwasserspiegels nur von der Schneeschmelze im Vorland verursacht worden sein. Ähnlich verhielt es sich in der zweiten Jännerhälfte 1974, mit dem Unterschied, daß die Schmelze auch im Gebirge spürbar war. Sie brachte in einer ebenfalls niederschlagsfreien Zeit einen Anstieg sowohl des Oberflächenabflusses als auch des seichtliegenden Grundwassers mit sich.

Anders sind die Auswirkungen auf den Grundwasserkörper zur Zeit der Schneeschmelze in den höheren Gebirgsbereichen. So rief die Schneeschmelze im Gebirge Ende März 1973 bei generell fallendem Grundwasserspiegel und einer niederschlagsfreien Periode zwischen 15. März und 2. April einen deutlichen Anstieg des Abflusses der Feistritz mit den schmelzwasserbedingten Tagesmaxima hervor, der in Unterfeistritz am markantesten, aber auch in Obgrün noch ausgeprägt war (Fig. 22). Ähnlich verliefen die Ganglinien in der zweiten Märzhälfte 1974.

Diese Ergebnisse weisen auf eine gewisse Unabhängigkeit des seichtliegenden Grundwassers vom Flußwasser hin. Die hohe Schwebstoffführung der Feistritz - das Einzugsgebiet

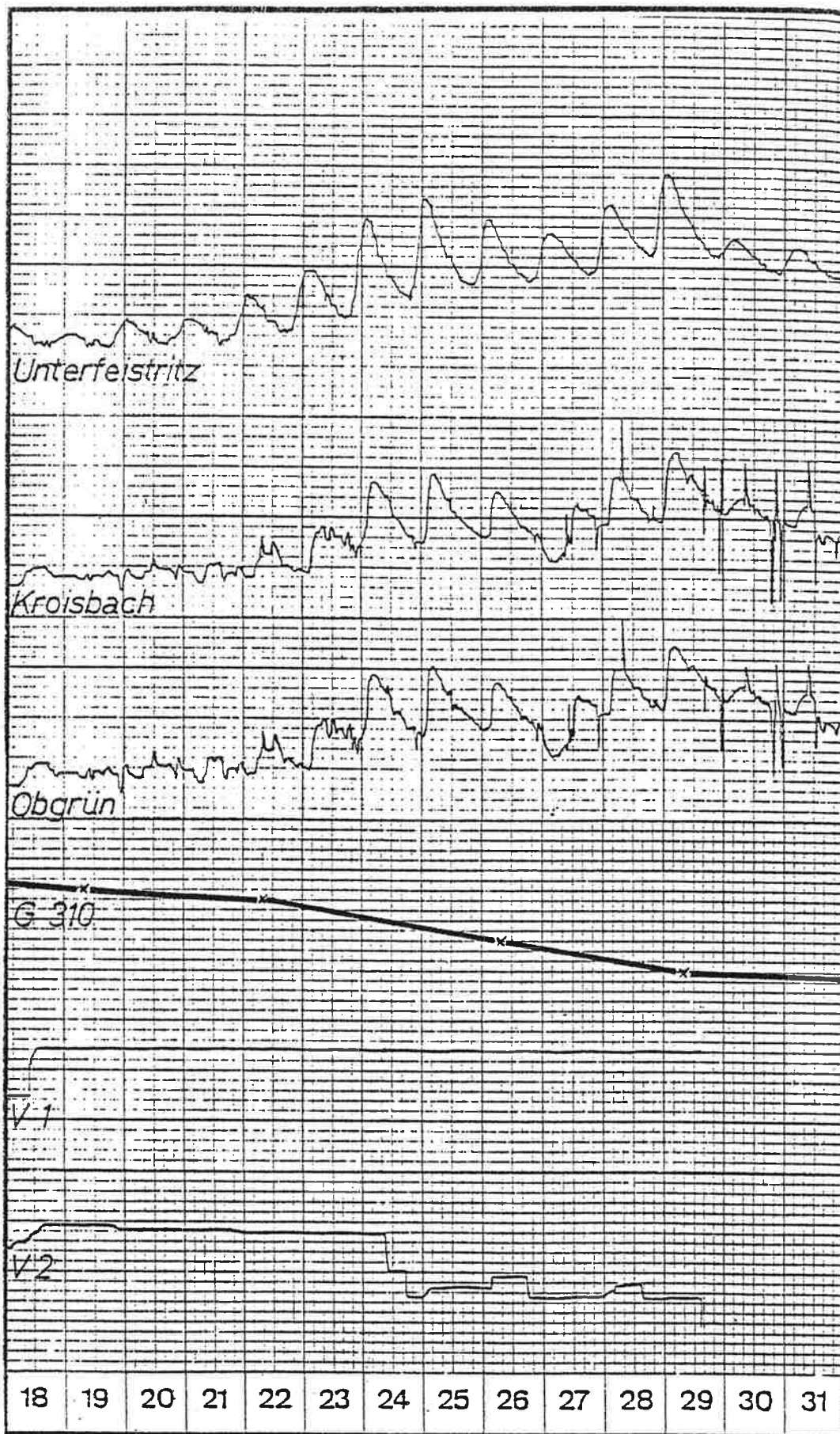


Fig. 22: Wasserstandsganglinien von Oberflächenwasser (Unterfeistritz, Kroisbach, Obgrün a.d. Feistritz), seichtliegendem Grundwasser (G 310) und artesischem Grundwasser (V 1, V 2) zwischen 19. und 31. März 1973

liegt fast ausschließlich in kristallinen Schiefen - kann für die gute Abdichtung des Flußbettes verantwortlich gemacht werden. Für die Betrachtung des gespannten Grundwassers ist diese Aussage ein wichtiger Hinweis, besonders wenn hydrometeorologische Ereignisse in verschiedenen Bereichen in wechselhafter Form und Intensität auftreten.

#### 4.1.2. Artesische Bohrungen V 1 und V 2

Die langzeitigen Druckspiegelschwankungen der beiden artesischen Beobachtungsstationen weisen generell eine Parallelität auf, die auf einen gleichen oder zumindest sehr ähnlichen Mechanismus im Grundwasserleiter schließen läßt. Dies trifft besonders für die von den hydrometeorologischen Gegebenheiten her schwankungsarmen Herbstmonate zu, aber auch Starkregen im Sommer und deren Auswirkungen auf den ober- und unterirdischen Abfluß ziehen in den meisten Fällen nahezu parallele Ganglinien im gespannten Grundwasserbereich nach sich. Unterschiede ergeben sich nur dann, wenn die auslösenden Ereignisse im rückliegenden Gebirge auftreten, während das umliegende Vorland nur mittelbar am Ablauf beteiligt ist.

#### Auswirkungen durch die Schneeschmelze

Eine Übereinstimmung der Ganglinien von V 1 und V 2 während des Schmelzwasserabflusses ist nur bei der Schneeschmelze in tieferen Bereichen gegeben, oder eine das gesamte Gebiet umfassende Tauperiode läßt die Wasserstände in die Höhe schnellen. Als Beispiel für letzteres kann eine Tauperiode in der zweiten Jännerhälfte 1974 angegeben werden (Fig. 13), als ein Warmwettereinbruch am 19. und 20. dieses Monats ein rasches Abschmelzen von Schneerücklagen - hauptsächlich im Gebirge - hervorrief und der Oberflächenabfluß enorm

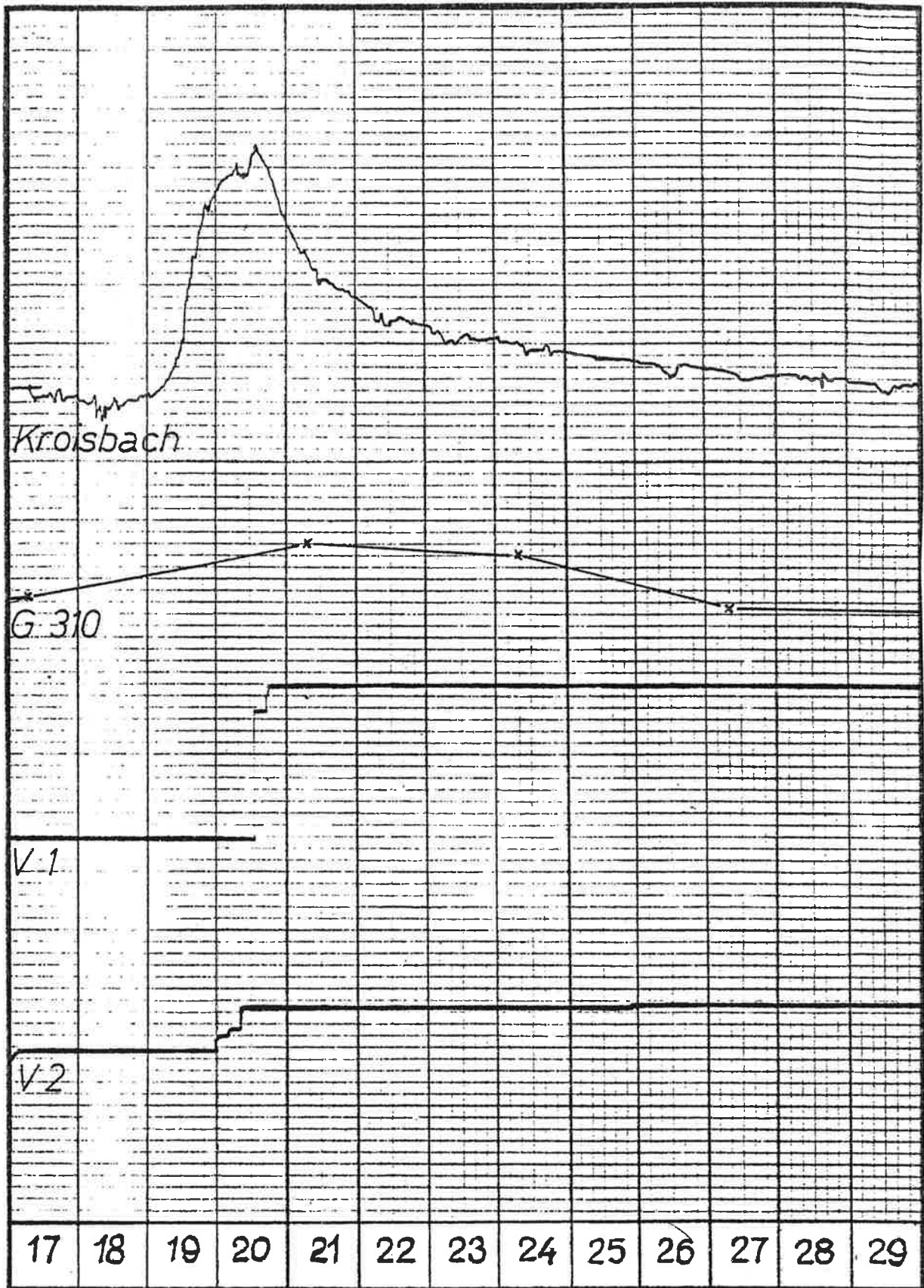


Fig. 23: Wasserstandsganglinien der Feistritz in Kroisbach, von G 310 (seichtliegendes Grundwasser) sowie von V 1 und V 2 (artesisches Grundwasser) zwischen 17. und 29. Jänner 1974

anstieg, obwohl nahezu keine Niederschläge fielen. Diese Witterungsverhältnisse bewirkten auch einen Anstieg des seichtliegenden Grundwasserspiegels und jenes der artesischen Wässer in Obgrün (V 1 und V 2). Während der Anstieg bei G 310 und V 2 zwar deutlich, aber wegen der ohnehin nur geringen Schneerücklage im Vorland keine hohen Werte ergab, deutet sich eine engere Beziehung zwischen V 1 und dem Oberflächenabfluß an. Dieser Zusammenhang bestärkt sich besonders dann, wenn die Schneeschmelze im Gebirge voll eingesetzt hat, während sie im Vorland bereits beendet ist; jedoch stets unter der Voraussetzung, daß durch Regenfälle keine Beeinflussung des Abflusses erfolgt. Eine solche Situation erfaßte man das erste Mal im März 1970 (Fig. 24). Neben den täglichen schmelzbedingten Abflußschwankungen der Feistritz nahm auch der mittlere Tagesabfluß beginnend mit dem 22. März zu, ohne daß in diesem Zeitraum nennenswerte Niederschläge fielen. Dem Ausbleiben von Regenfällen trug die Ganglinie von V 2 Rechnung, sie bekundete zu dieser Zeit durchwegs fallende Tendenz. Anders hingegen gab der Druckspiegel in V 1 im groben die Schwankungen des Oberflächenabflusses wieder. Eine nähere Bewertung dieser Verhältnisse unter Beziehung des seichtliegenden Grundwassers war zu jener Zeit nicht möglich, wohl aber im März 1973 (Fig. 22), wo ähnliche Bedingungen herrschten. Die Schneeschmelze im Gebirge wird durch die Aufzeichnungen der Flußpegel Unterfeistritz, Kroisbach und Obgrün dokumentiert. Demgegenüber weisen sowohl das seichtliegende Grundwasser (G 310) als auch der artesische Brunnen V 2 eine eindeutig fallende Ganglinie auf, während beim Brunnen V 1 der Wasserspiegel ziemlich konstant hoch verblieb.

Was den Einfluß des Oberflächenabflusses auf den Druckspiegel des artesischen Brunnens V 1 betrifft, bieten sich zwei Lösungsmöglichkeiten an:

a) E. BRADLEY (1971) vertritt in einer persönlichen Mit-

artes. Brunnen Obgrün I (b) und II (c) im März 1970  
Niederschlag(d) : Fürstenfeld

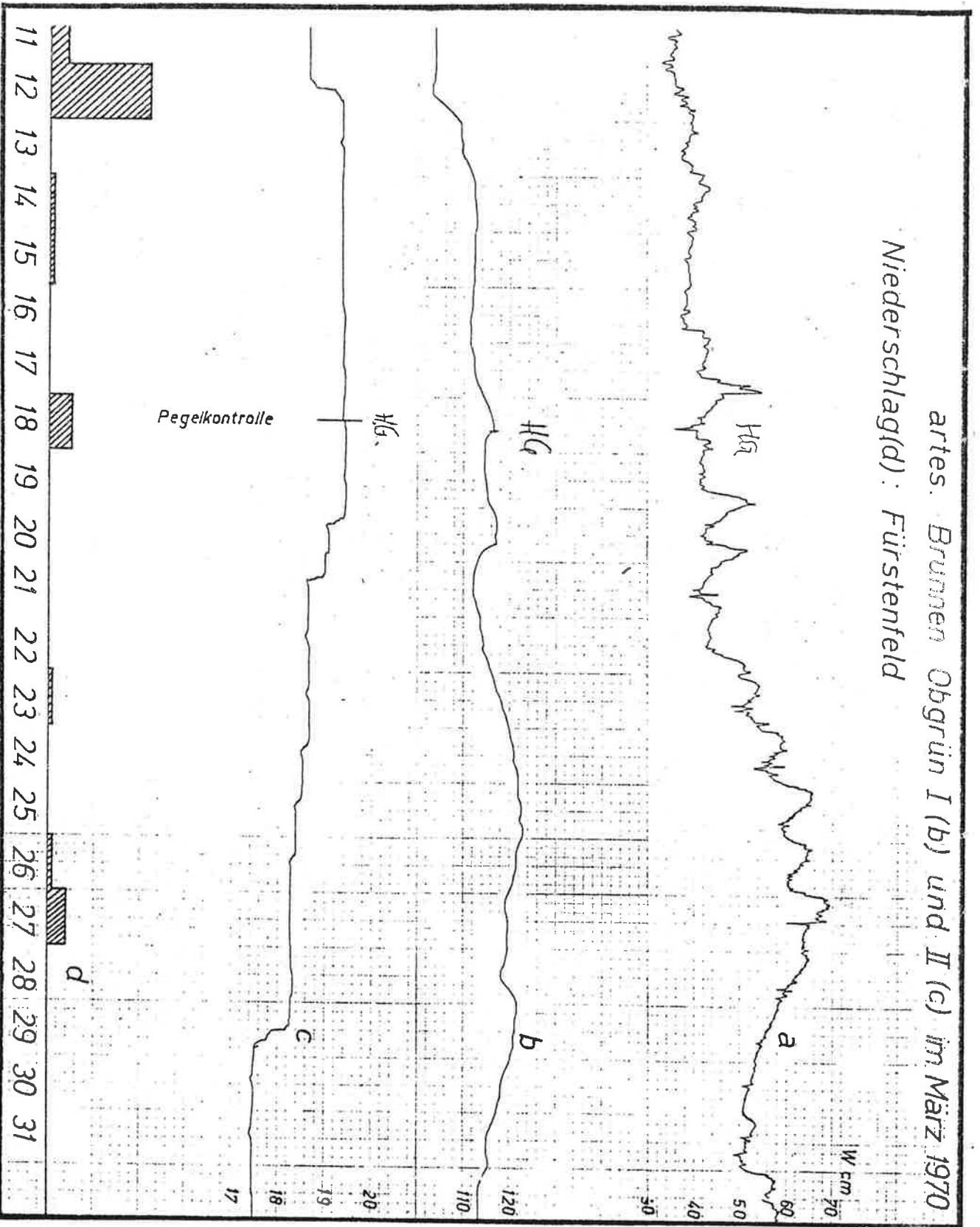


Fig. 24: Verlauf der Wasserstandsganglinien der Feistritz(a) und des artesischen Grundwassers (V 1 = b; V 2 = c) zwischen 11. und 31. März 1970 (d = Niederschlag, gemessen in Fürstenfeld)



teilung die Auffassung, daß durch die unmittelbare Flußnähe des Brunnens V 1 auch der wechselhafte Auflagedruck der Feistritz gemessen wird, während bei V 2 dies wegen der Flußferne nicht erfolgen kann. Daß sich eine Druckentlastung bei übereinanderliegenden Horizonten aufgrund der Plastizität dazwischenliegender Tone auswirken kann, ist unbestritten und bei Untersuchungen an artesischen Wässern im Raum Grafendorf schon bewiesen worden (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1973). Im konkreten Fall von Obgrün müßte einen solchen Druck auch das seichtliegende Grundwasser ausüben. Aber gerade in Zeiten der Schneeschmelze im Gebirge weist die Ganglinie des seichtliegenden Grundwasserspiegels jeweils fallende Tendenz auf (März 1973, Fig. 22; März 1974), während der Druckwasserspiegel in V 1 mit den Flußwasserschwan- kungen konform geht.

- b) Das Einzugsgebiet der artesischen Wässer beider Brunnen (V 1 und V 2) liegt in verschiedenen Bereichen, obwohl die Bohrungen nur ein paar hundert Meter voneinander situiert sind. Hinweise dafür ergaben die Messungen der Fließrichtung des gespannten Grundwassers. Sie stimmt bei V 1 nahezu mit dem heutigen Talverlauf überein, was als Argument für die Alimentation dieses Horizontes (V 1) durch die Feistritz gewertet werden könnte, zumal ein Flußwasserverlust der Feistritz zwischen Kroisbach und Obgrün festgestellt wurde (H. ZOJER, 1972). Auch die absolute Tiefenlage des Horizontes von V 1 könnte ein Hinweis auf seine Eigenständigkeit sein, die obere Horizontgrenze bei der Bohrung V 1 liegt nämlich etwa 3 m tiefer als bei der Sondierung V 2. Überdies muß auf Tatsache verwiesen werden, daß der Wasserspiegel in der Bohrung V 2 absolut gesehen 35 - 50 cm höher liegt als in V 1. Dies widerspricht der Annahme, daß die Fließrichtung in V 1 in die Rinnenmitte tendiert, da - im Falle eines einheitlichen Horizontes - das Druckgefälle in Richtung des Brunnens V 1 verlaufen muß.

### Auswirkungen von Starkregen und Hochwässern

Sommerliche Starkregen, die einen größeren Raum umfassen, bewirken einen nahezu parallelen Gang der Druckspiegelschwankungen in V 1 und V 2. Als Beispiel dafür können die Verhältnisse im Juli 1972 angeführt werden, wo bei beiden Brunnen je 9 eindeutige Spitzen aufgezeichnet wurden. Da dies in Übereinstimmung mit den gefallenen Niederschlägen und dem oberirdischen Abfluß stand, ist es schwer, diese beiden Faktoren in den Druckwasserganglinien zu trennen.

Tritt ein umgekehrtes Ereignis ein, Starkregen im tertiären Vorland ohne nennenswerte Alimentation der Flüsse aus dem Gebirge, reagiert dagegen nur der Wasserspiegel in V 2. So fiel Mitte Juli 1971 im Gebiet von Fürstenfeld fast 70 mm Niederschlag, während im hochliegenden Einzugsgebiet der Feistritz die Regenfälle nicht intensiv waren. Die Wasserstandsganglinien in Unterfeistritz und Kroisbach zeigten dementsprechend keine markanten Spitzen, und auch der Druckwasserspiegel in V 1 stieg kaum merklich an. Demgegenüber war bei V 2 eine rasche Reaktion festzustellen. Ähnliche Aussagen können von den Ereignissen im November 1971 abgeleitet werden. Der in den tieferen Lagen noch in Form von Regen gefallene Niederschlag konnte in den Untergrund infiltrieren und rief eine rasche Reaktion im Druckwasserspiegel von V 2 hervor. In den höheren Lagen waren die Niederschläge bereits in fester Form, was sich in den Wasserstandskurven der Feistritz und von V 2 nur unwesentlich auswirkte.

### Auswirkungen durch Wasserentnahmen

Zum Zwecke monatlicher Probenahmen wurden beide Versuchsbohrungen, beginnend Ende Februar 1973, 14-mal ausgepumpt. Die maximale Absenkung erreichte bei V 2 13,3 cm (Fig. 25). Das hohe Ansetzen der Ganglinie nach der ersten Wasserent-

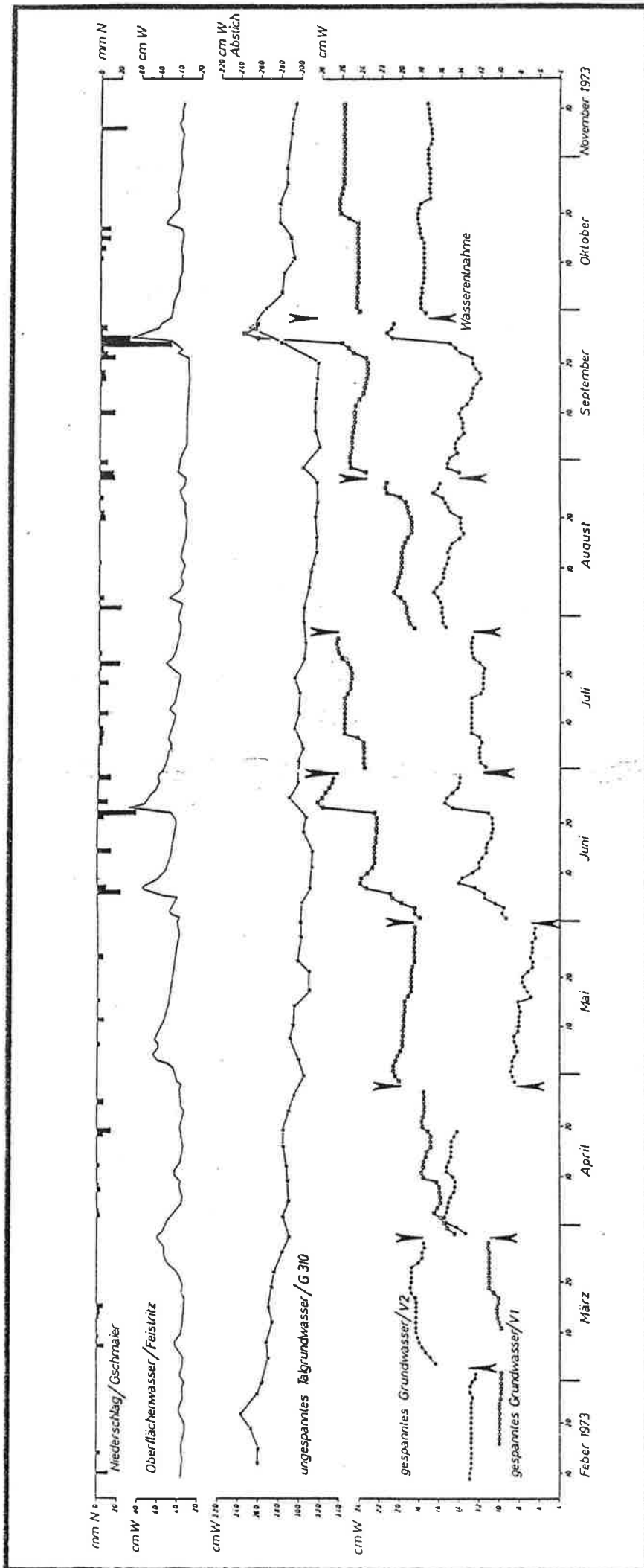


Fig. 25: Reaktion des Wasserspiegels bei den Obgrüner Versuchsbohrungen auf Wasserentnahmen

nahme ist wohl auf die Verlegung des Filters durch Feinstoffe zurückzuführen, die ein natürliches Durchströmen der Bohrung verhinderten. Auffallend ist weiters der tiefe Beginn der Ganglinie nach Wasserentnahmen bei vorher fallendem Druckspiegel (Ende März, Ende April, Ende August 1973). Dieses Verhalten wird dann noch verstärkt, wenn einige Tage vor dem Auspumpen der Druckspiegel durch den Einfluß von Niederschlägen in die Höhe schnellt und unmittelbar vor der Wasserentnahme schon wieder im Fallen begriffen ist, wie dies Ende Juni und Ende September 1973 eintrat.

Während sich als Vergleich für die Ganglinie von V 2 vortrefflich die Schwankungen des seichtliegenden Grundwassers eignen, sind bei V 1 gewisse Übereinstimmungen mit dem Oberflächenabfluß der Feistritz nicht von der Hand zu weisen. So ist das Anschwellen des Druckspiegels nach der Wasserentnahme Ende März 1973 als rasche Reaktion auf den Schmelzwasserabfluß zu verstehen, und auch Ende April gilt diese Regel, da auch der Wasserstand des Flusses im Steigen war.

#### 4.2. Aquifer von Blumau

Nach der Abteufung der Versuchsbohrung von Blumau wurde der dort aufgeschlossene seichtere Horizont (ca. 55 m tief) zur Messung der Druckspiegelschwankungen im Februar 1975 mit einer automatischen Registrierstation versehen. Im September 1979 begannen die Aufzeichnungen auch an der Testbohrung Großwilfersdorf und etwas später, allerdings nicht kontinuierlich, an der Sonde Jobst.

##### 4.2.1. Beweissicherungsmessungen des Druckspiegels im Zuge der Abteufung der Versuchsbohrung Blumau

Die Versuchsbohrung Blumau wurde im Winter 1973/74 abgeteuft. H. ZETINIGG (1975) beschreibt den Ablauf der Bohr-

arbeiten:

4. Dezember 1973 - 29. Jänner 1974: Bohrarbeiten bis 190,4 m  
Verkleben des Kernrohres in 186 m Tiefe
30. Jänner - 14. Februar 1974: Sprengversuche, Gestängebruch
1. - 10. April 1974: Erweiterung der Bohrung bis 245 mm  $\emptyset$   
bis 65 m
11. - 13. April 1974: Einbau von PVC-Rohren; Strang A bis  
180 m Tiefe, Strang B bis 55 m (Filtereinbau 45,5  
- 48,6 m)
15. April: 3 Stunden Klarpumpen mit einer Schüttung von  
0,75 l/s (= ca. 8 m<sup>3</sup>); der Wasserspiegel, am Beginn des  
des Pumpversuches 2,48 m über Terrain gelegen, senkte  
sich um mehr als 2 m ab.

Gleichzeitig mit den Bohrarbeiten und der Komplettierung der Sonde wurden nahezu täglich Kontrollmessungen des Druckwasserspiegels an den artesischen Hausbrunnen in Blumau durchgeführt. Charakteristische Aufzeichnungen sind in Fig. 26 dargestellt. Unverkennbar ist eine Beziehung zur Entfernung von der Versuchsbohrung und zur Schüttung herzustellen (Fig. 17; Tab. 3). So reagierte der sehr nahe gelegene und schüttungsarme Brunnen Nr. 55 bereits auf das Nachbohren und den Filtereinbau. Mit dem Abschluß der Arbeiten (Klarspülen) stieg der Wasserspiegel stark an und verblieb nach ca. einer Woche ziemlich konstant.

Die Wasserentnahme durch das Klarspülen ist auch bei den anderen Beobachtungsbrunnen - zeitverzögert - erkennbar, am spätesten beim Gemeindebrunnen ca. 10 Tage nach Beendigung der Arbeiten. Die Ganglinie dieses Brunnens bestätigt den Eindruck eines Mischwassers, da die geringe Schwankungsbreite auf den hydraulischen Einfluß des tieferen Horizontes zurückzuführen ist.

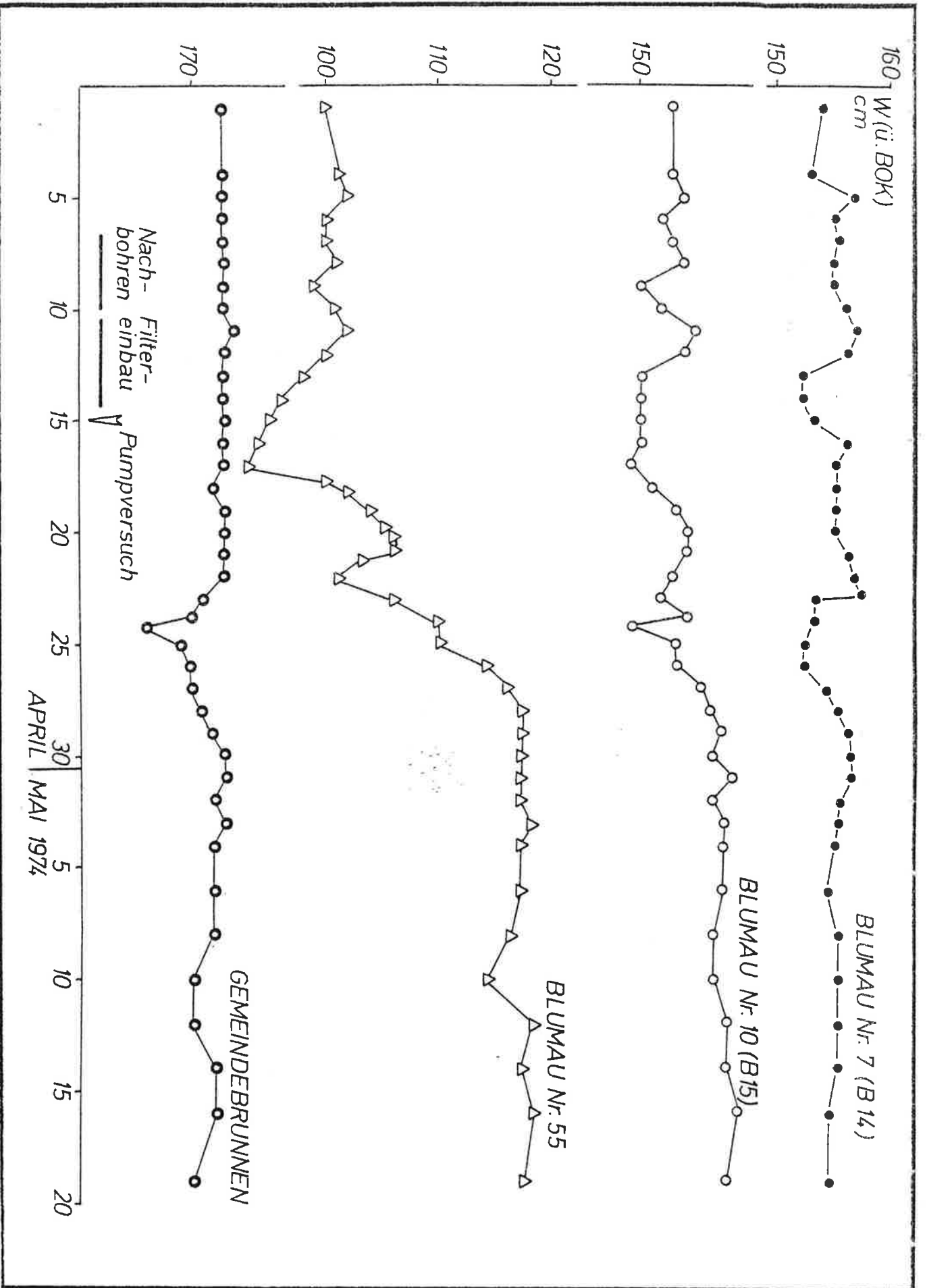


Fig. 26: Druckspiegelmessungen an artesischen Hausbrunnen in Blumau im Zuge der Abteufung der Versuchsbohrung

#### 4.2.2. Beispiele für den Vergleich von Druckspiegeländerungen in den Versuchsbohrungen

Einen generellen Einblick in die Spiegelschwankungen während eines ausgewählten Zeitraumes - Mai bis Dezember 1976 - gewährt Fig. 27. Hierbei werden die Druckspiegelmessungen bei der artesischen Station Blumau den Aufzeichnungen des Flußpegels Obgrün an der Feistritz und den Messungen an einem seichtliegenden Grundwasserbrunnen in Großwilfersdorf gegenübergestellt. Die Niederschläge, dargestellt an der Station Gschmaier bei Ilz, stellen die Ausgangsposition für den Vergleich der Spiegelschwankungen dar.

Der Abflußgang der Feistritz zeigt, daß die Mairegen wohl zu kurzen Spitzen führten, aber kaum nennenswert unterirdisch gespeichert werden. Geringe Auswirkungen auf den Abfluß haben die Regenfälle bis zum 20. Juli, sie fallen vornehmlich der Verdunstung zum Opfer. Erst die Niederschläge im Herbst und vor allem im Dezember lassen den Abfluß auch nach den Spitzen in beträchtlicher Höhe verbleiben. Die Schwankungen des seichtliegenden Grundwasserspiegels setzen sich aus dem infiltrierten Niederschlags- und seitlich zutretenden Hangdruckwässern zusammen. Auch hier ist der Einfluß der Verdunstung in den Sommermonaten unverkennbar, denn erst die November- und Dezemberrniederschläge bewirkten einen nennenswerten Anstieg des Grundwasserspiegels.

Völlig divergierend verläuft der Druckspiegel-Jahresgang bei der artesischen Versuchsbohrung Blumau. Die Jahreschwankung liegt innerhalb von 10 cm. Die Veränderungen über einige Tage, die aber im großen trotzdem auf einen einheitlichen Gang hinweisen, sind auf Luftdruckunterschiede zurückzuführen und weisen eine Parallelität zu den Niederschlagsperioden auf. Trotz extremer Trockenheit im Sommer

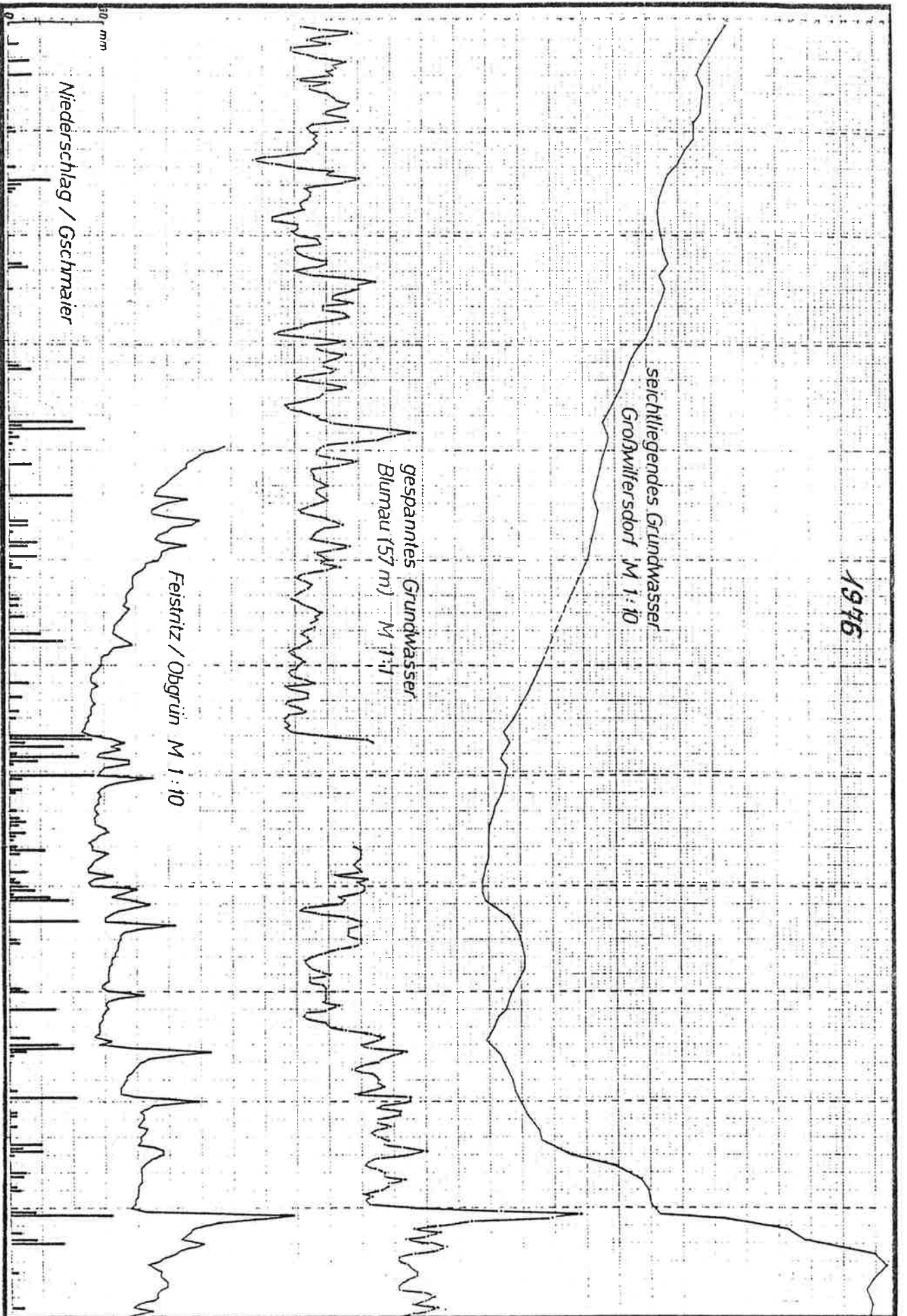


Fig. 27: Spiegelschwankungen 1976 (Niederschlag: Gschmaier bei Ilz)



stellte sich keine Absenkung des Druckwasserspiegels ein, obwohl beide Vergleichskurven (Feistritz und seichtliegendes Grundwasser) eine einheitlich stark fallende Tendenz aufweisen. Das bedeutet, daß eine Anreicherung dieses Aquifers auch in einer Zeit gesichert ist, wenn keine Infiltration durch den Niederschlag erfolgen kann. Daher kommt als Infiltrationsbereich nur ein Körper in Frage, der dauernd Wasser führt: ein Oberflächengerinne oder ein seichtliegender Grundwasserleiter. Aus den äußerst geringen Schwankungen des gespannten Grundwassers von Blumau ist allerdings eine Korrelation mit den beiden vorher genannten Wasserkörpern schwer herzustellen. Das Ausmaß der Schwankungen stimmt nicht überein, Hochwasserspitzen sind im gespannten Grundwasser lediglich in kleinen Peaks wiedergegeben, die jedoch keinen höheren Dauerwasserstand zur Folge haben.

Schwankungsübereinstimmungen des artesischen Aquifers von Blumau und der Feistritz sind auf der anderen Seite in den Auswirkungen heftiger Niederschläge Anfang Dezember gegeben. Die Spitzen der Ganglinien "Feistritz" und "Blumau" fallen im Tagesmittel gleichzeitig auf den 2. Dezember, während das seichtliegende Grundwasser in Großwilfersdorf erst 14 Tage später den höchsten Stand erreichte. Dies ist als Beweis zu werten, daß der Bereich des seichtliegenden Grundwassers nicht alleine und unmittelbar als Infiltrationsgebiet in Frage kommt. Es ist daher auch durchaus möglich, daß der Fluß direkt Wasser an einen einfallenden Horizont abgibt.

Nach der Abteufung der Versuchsbohrungen Großwilfersdorf und Jobst konnten diese beiden Aufschlüsse in die weiteren Untersuchungen miteinbezogen werden. Die Druckspiegelganglinien von Jobst und Blumau stimmen dabei annähernd überein, während die Ganglinie bei der Testbohrung Großwilfersdorf in ihrem Schwankungsverhalten eine gewisse Angleichung an das seichtliegende Grundwasser zeigt. In Fig. 28 sind die

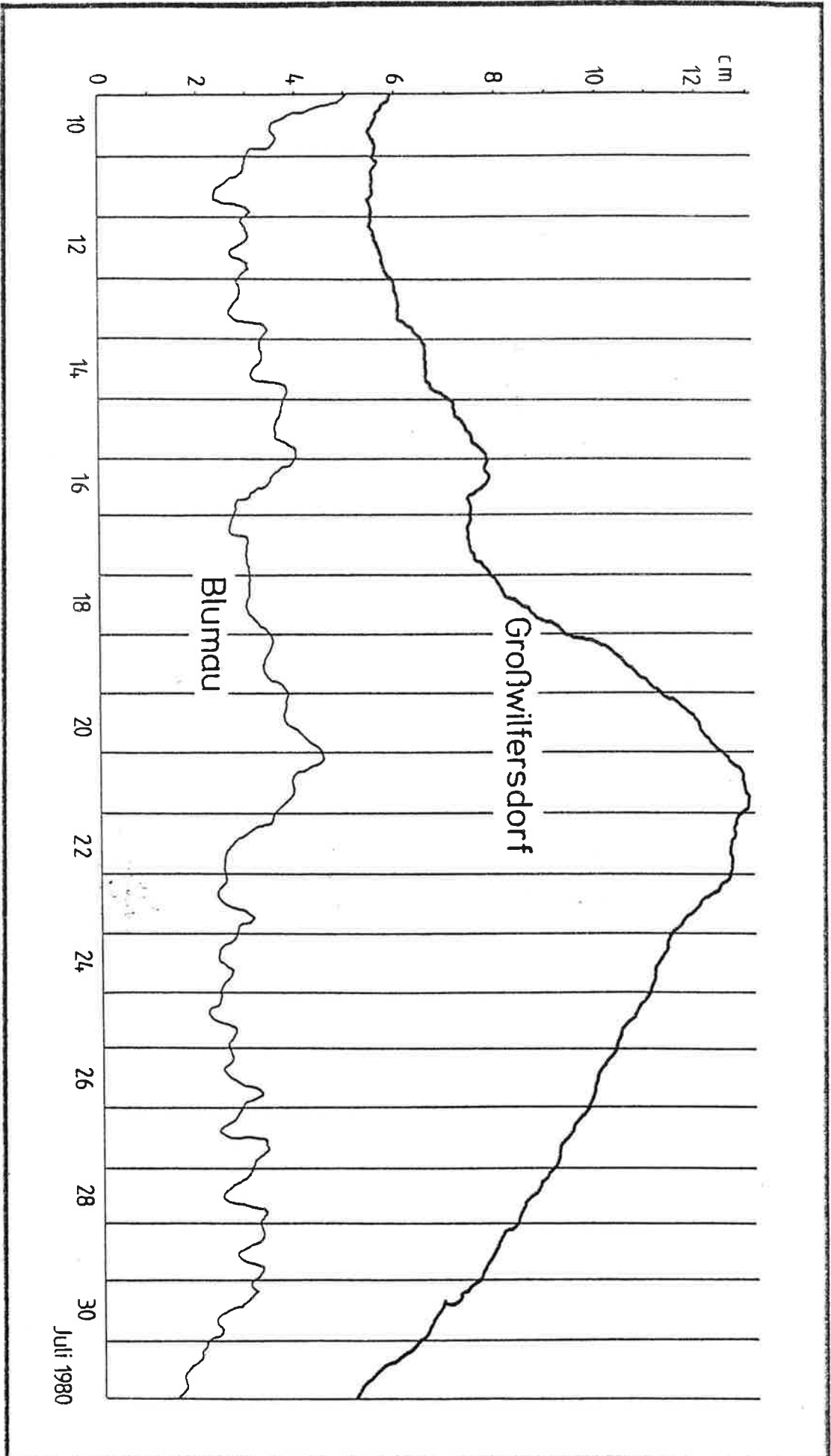


Fig. 28: Druckspiegelganglinien des artesischen Grundwassers im untersuchten Aquifer bei Großwilfersdorf und Blumau (Lage s. Fig. 18)

Ganglinien von Großwilfersdorf und Blumau vom Juli 1980 gegenübergestellt, wobei der niederschlagsbedingte Anstieg in Großwilfersdorf um die Monatsmitte deutlich zum Ausdruck kommt, allerdings mit einer Amplitude von nur 7 cm klar unter der Schwankungsbreite des seichtliegenden Grundwassers bleibt. In Blumau werden hingegen in erster Linie luftdruckbedingte Spiegelschwankungen wiedergegeben. Damit ist aber keinesfalls ein Zusammenhang des durch die beiden Bohrungen aufgeschlossenen Aquifers auszuschließen. Es wird dadurch vielmehr klargelegt, daß der vom Infiltrationsgebiet ausgehende Einfluß (große Spiegelschwankungen) mit der Längen- und Tiefenerstreckung des Grundwasserhorizontes immer mehr abnimmt.

#### 4.2.3. Übersicht der Langzeitmessungen

Wie bereits oben erwähnt, wurde mit der automatischen Druckspiegelregistrierung in Blumau im Februar 1975 begonnen, in Großwilfersdorf im September 1979 (Fig. 29).

Die Schwankungsamplitude der Monatsmittel erreichte bei der Station Blumau im gesamten 10-jährigen Beobachtungszeitraum knapp weniger als 20 cm. Die Schwankungen weisen keine jahreszeitliche Abhängigkeit auf. Im Laufe des Jahres 1981 fiel der Wasserstand um ca. 10 cm und verblieb in den folgenden Jahren mit kleineren Abweichungen in dieser Position.

In Großwilfersdorf ist der artesische Druckspiegel schon von Haus aus größeren Schwankungen unterworfen, wobei - trotz des kürzeren Beobachtungszeitraum - sich im groben ein jahreszeitlicher Zyklus abpaust. Das Jahresminimum fällt mit Ausnahme des Jahres 1984 immer in den Sommer, während die höheren Wasserstände mit dem Winterhalbjahr zusammenhängen. Die gesamte Schwankungsamplitude erreicht fast 150 cm.

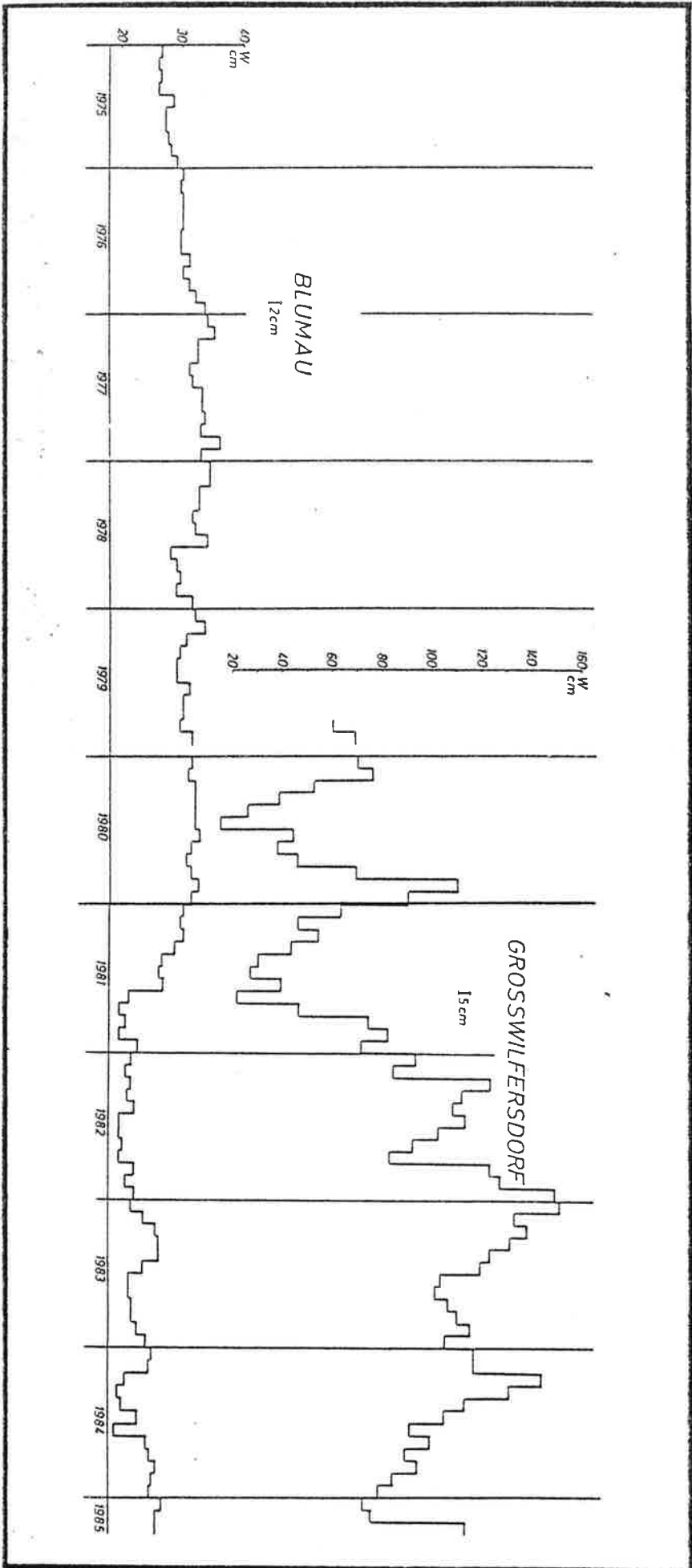


Fig. 29: Monatsmittel des Druckwasserspiegels bei den automatischen Registrierstationen Blumau (1975 - 1985) und Großwllfersdorf (1980 - 1985)

Von dieser Übersicht her scheint keine Übereinstimmung zwischen den beiden beobachteten Wasserspiegeln vorzuliegen. Der Schwankungsrhythmus dürfte einem verzögerten Ablauf der jahreszeitlichen Veränderungen des Flußwasser- und seichtliegenden Grundwasserspiegels entstammen, die - je länger das Wasser im Untergrund verweilt - immer mehr ausgeglättet werden.

## 5. CHEMISCHE BESCHAFFENHEIT DER GESPANNTEN GRUNDWÄSSER

Bei der Betrachtung der chemischen Beschaffenheit von Grundwässern steht im allgemeinen die Frage der Verwendbarkeit als Trinkwasser im Vordergrund. Normen hinsichtlich der Ober- und Untergrenze gelöster Stoffe sind festgelegt und führen zu gewissen Begrenzungen und Einschränkungen für den menschlichen Gebrauch.

Auf der anderen Seite widerspiegelt die chemische Zusammensetzung von Grundwässern den Ablauf hydrodynamischer Vorgänge im Aquifer, woraus sich fallweise Rückschlüsse auf Einzugsgebiet und Speicherung ableiten lassen. Wenn dies nicht möglich ist, können zumindest Cluster erarbeitet werden, wodurch einzelne Grundwässer mit der petrographischen Zusammensetzung von Grundwasserleitern korreliert werden können.

### 5.1. Hydrochemische Übersicht

Im Rahmen der Kartierung artesischer Brunnen im zentralen Bereich des Steirischen Beckens, die von F. RONNER und von W. STRUSCHKA durchgeführt wurde, bestimmte man auch einfache chemische Parameter (nach Feldmethoden). Zweifellos entsprechen die dabei angewandten Methoden nicht mehr dem heutigen Wissensstand, es konnten jedoch immerhin Richtwerte

erarbeitet werden, auf die man gegebenenfalls auch heute noch zurückgreifen kann.

F. RONNER hat im Zuge seiner Aufnahme besonderes Augenmerk auf eine gesicherte Tiefenangabe, die Temperatur, den  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt (berechnet aus der Karbonathärte), den Gehalt an Erdalkalien (berechnet aus der Gesamthärte) und den Gehalt an freier Kohlensäure gelegt.

Die Beziehung zur Tiefe wird gemäß der geothermischen Tiefenstufe durch die Temperatur hergestellt. Bohrungen mit einer Tiefe an die 150 m erreichen eine Temperatur bis  $16,5^\circ\text{C}$ , während die seichterliegenden gespannten Wässer unter  $11^\circ\text{C}$  absinken können.

Nicht sehr unterschiedlich ist der Gehalt an gelösten Feststoffen, doch fällt auf, daß in manchen Fällen der  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt die Konzentration an Erdalkalien übersteigt, besonders dann, wenn die freie Kohlensäure erhöhte Werte erreicht. Das wiederum dürfte zu einem erhöhten Natrium- und Kaliumgehalt führen, der jedoch nicht bestimmt wurde.

Betrachtet man das freie  $\text{CO}_2$ , so ist örtlich mit starken Unterschieden zu rechnen, wobei die horizontale Verfrachtung des Gases innerhalb der Grundwasserhorizonte gegenüber dem vertikalen Aufstieg zu vernachlässigen wäre. Damit kann auch der Ursprung des  $\text{CO}_2$  leichter erkannt werden. Der Anstieg des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes ist vor allem auf die Auswirkungen des bedeckten miozänen Vulkanismus zurückzuführen, er übersteigt örtlich  $60 \text{ mg/l}$ . Während diese Werte nur im unteren Ill- und Feistritztal erreicht werden, liegt die Konzentration im unteren Safental bedeutend niedriger. Zusätzlich kommt hier noch eine Abnahme talaufwärts, so daß im Gebiet von Leitersdorf die artesischen Grundwässer kaum mehr als  $10 \text{ mg/l}$  freies  $\text{CO}_2$  enthalten.

Untersuchungen der zeitlichen Varianz chemischer Parameter ergaben keine nennenswerten Unterschiede. Bei den beiden Versuchsbohrungen in Obgrün wurden zwischen April 1973 und Jänner 1974 in der Folge von Kurzpumpversuchen Karbonat- und Gesamthärte sowie die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Letztere liegt bei O I (V 1) zwischen 440 und 460, bei O II (V 2) zwischen 430 und 440  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}/20^\circ\text{C}$ .

## 5.2. Versuchsbohrungen der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung im unteren Feistritztal

Im Zuge der Aufschließung artesischer Horizonte im unteren Feistritztal wurden auch hydrochemische Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen stammen - wie in Tab. 5 angeführt - von der Fachabteilung Ia des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, lediglich von der Bohrung in Hainersdorf liegen auch Meßwerte der Fachabteilung IIIc und vom Labor Dr. OTT vor.

Mit Ausnahme von Hainersdorf und einer nicht erklärbaren Ca/Mg-Verteilung bei der letzten Analyse von Großhartmannsdorf I sind die Werte gut reproduzierbar. Zum ersten ist keine Beziehung zwischen Tiefenlage und Chemismus des Grundwassers herzustellen: Es tritt keine Zunahme der Mineralisierung mit der Tiefe auf, im Gegenteil, der seichteste Aquifer, aufgeschlossen durch die Bohrung Großhartmannsdorf II, weist die höchste Ionenkonzentration auf, wie überhaupt die beiden Grundwässer von Großhartmannsdorf in der Gesamtmineralisierung um mehr als 1 mval/l auseinanderliegen.

In der Variation der einzelnen Ionen spielen Kalium, Sulfat und Chlorid keine Rolle, Magnesium und Hydrogencarbonat liegen in einem eher engen Schwankungsbereich. Bei den Kationen ist das Calcium weiter gestreut, dokumentiert in

Tab. 5: Chemische Analysen von artesischen Wässern der Aufschlußbohrungen

Analysen: 1 = Fachabteilung Ia  
 2 = Fachabteilung IIIc  
 3 = Labor Dr. Ott

Ort	Datum	T °C	pH	Lf. µS	O <sub>2</sub> mg/l	CO <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> mg/l	Fe	Kationen (mval/l)					Anionen (mval/l)					
									Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Sum.	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Sum.	
Kroisbach (Filter: 74,5-79,5 m)	1	9.7.81	14,2	7,0	527	0,3	3,1	46,8	0,02	3,91	1,93	0,47	0,08	6,47	6,10	0,02	0,31	0,06	6,50
	1	11.11.81	12,5	6,8	531	0,5	5,0	48,0	0,14	4,03	1,79	0,60	0,06	6,63	6,10		0,52	0,06	6,69
Großsteinbach I (Filter: 114-117,7 m)	1	11.11.81	12,3	6,7	537	0,5	4,9	39,6	0,02	4,35	1,55	0,70	0,05	6,68	6,25		0,37	0,06	6,69
	1	16.7.80	12,3	7,0	543	0,8	7,9		0,02	4,39	1,75	0,70	0,06	6,93	6,50	0,01	0,36	0,08	6,96
Großhartmannsdorf I (Filter: 51-55,5 m)	1	2.6.80	13,2	7,0	444	0,6	6,1		0,02	3,59	1,78	0,59	0,05	6,04	5,90		0,08	0,06	6,05
	1	11.11.81	12,5	6,8	472	0,5	4,9	32,0	0,02	3,71	1,61	0,62	0,05	6,02	5,80		0,14	0,08	6,03
	1	6.4.83	12,6	7,1	475	0,4	4,0			2,51	2,83	0,62	0,05	6,01	5,80		0,18	0,05	6,03
Großhartmannsdorf II (Filter: 38,3-43,3 m)	1	21.7.81	13,5	7,0	579	1,4	14		0,02	4,78	1,49	0,75	0,08	7,12	6,80		0,25	0,09	7,14
	1	11.11.81	11,3	6,9	561	0,95	9,1	50,4	0,04	4,59	1,85	0,68	0,05	7,22	6,75		0,40	0,08	7,24
Hainersdorf (Filter: 90-110 m)	1	24.8.79	15,2	7,3	446	0,9	10,0		0,01	3,35	1,33	1,76	0,08	6,53	6,15		0,33	0,06	6,54
	2	8.11.84	13,5	7,4	644	0,5	5,0	17,0	0,04	2,44	0,86	2,60		5,95	5,45	0,01	0,40	0,08	5,97
	3	7.12.84	15,3	7,1	516	0,4	4,1	10,0	0,01	2,93	0,50	2,66	0,08	6,18	5,63	0,01	0,40	0,02	6,06



erster Linie durch einen niedrigen Gehalt bei der Bohrung Hainersdorf, bei der auf der anderen Seite ein fast dreifacher Gehalt an Natrium in Vergleich zu den anderen Bohrungen erreicht wird. Damit sind die untersuchten gespannten Grundwässer wie folgt zu charakterisieren:

- a) Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-Wässer: Kroisbach
  - Großsteinbach I
  - Großsteinbach II
  - Großhartmannsdorf I
  - Großhartmannsdorf II
  
- b) Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Wässer: Hainersdorf

Der bei der letzten Bohrung auffallend hohe Natriumgehalt ist auf der Anionenseite mit dem Hydrogencarbonat verbunden und weist auf eine unterschiedliche Genese des Grundwassers gegenüber den anderen hin.

### 5.3. Gespanntes Grundwasser von Blumau

Zur Klärung der Frage der Anreicherung des gespannten Aquifers von Blumau wurden auch umfangreiche chemische Untersuchungen durchgeführt. Analysen, ausgearbeitet zwischen 1975 und 1982, stammen vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Fachabteilung Ia), der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz und vom Institut für Geothermie und Hydrogeologie der FGJ. Eine Auswertung der ersten Meßserien erfolgte durch H. ZOJER (1981), J.N.ANDREWS et al. (1984) haben im Zuge eines Pilot-Projektes über Altersbestimmungsmethoden des Grundwassers die hydrochemischen Modelle neu überdacht, beruhend auf wiederholte Meßserien und den Vergleich von Isotopenmethoden. Die chemischen Untersuchungen erfolgten von den nachstehenden Einheiten:

- Oberflächenwasser (Feistritz)

- seichtliegendes Grundwasser im unteren Feistritztal (Großwilfersdorf)
- präsumptiver gespannter Aquifer Großwilfersdorf - Blumau (Testbohrungen in Großwilfersdorf, Jobst, Blumau; Hausbrunnen in Blumau, Schwarzmannshofen)
- tieferliegende Grundwasserkörper, die nicht mit dem untersuchten Aquifer in Verbindung stehen (Leitersdorf, Großwilfersdorf)

Die physikalisch-chemischen Feld- und Laboranalysen sind in Tab. 6 zusammengefaßt. Eine Übersicht der Ionenverteilung von der letzten Probennahme im November 1982 bietet Fig. 30. Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Analysen ist die Methode der Analytik zu berücksichtigen, wobei jedoch jedes Labor bestrebt ist, eine optimale Meßgenauigkeit mit einem größtmöglichen Probendurchsatz zu verbinden.

Die erste umfassende Meßserie vom Jänner 1977 (H. ZOJER, 1981) gibt auch Aufschluß über die Anreicherung des seichtliegenden ungespannten Grundwassers im unteren Feistritztal bei Großwilfersdorf. Einerseits ist das Grundwasser am Talrand infolge der karbonatfreien angrenzenden Terrassenschotter nur gering mineralisiert, auf der anderen Seite erreicht aber auch jenes Grundwasser, das in Verbindung mit der Feistritz steht, wegen der beachtlichen Verdünnung nicht die höchsten Werte. Diese liegen in einem Bereich zwischen den beiden Zonen, wo die Anreicherung hauptsächlich durch den Niederschlag erfolgt.

Die Aufschlüsse im artesischen Horizont zeigen in dieser Studie eine leichte Zunahme der Mineralisierung in Richtung der vermuteten Fließbewegung. Diese Tatsache wurde als Anzeichen einer chemischen Evolution des Grundwassers gewertet. Genaue Meßwerte zur Berechnung hydrodynamischer Gleichgewichte lagen zu jener Zeit jedoch nicht vor.

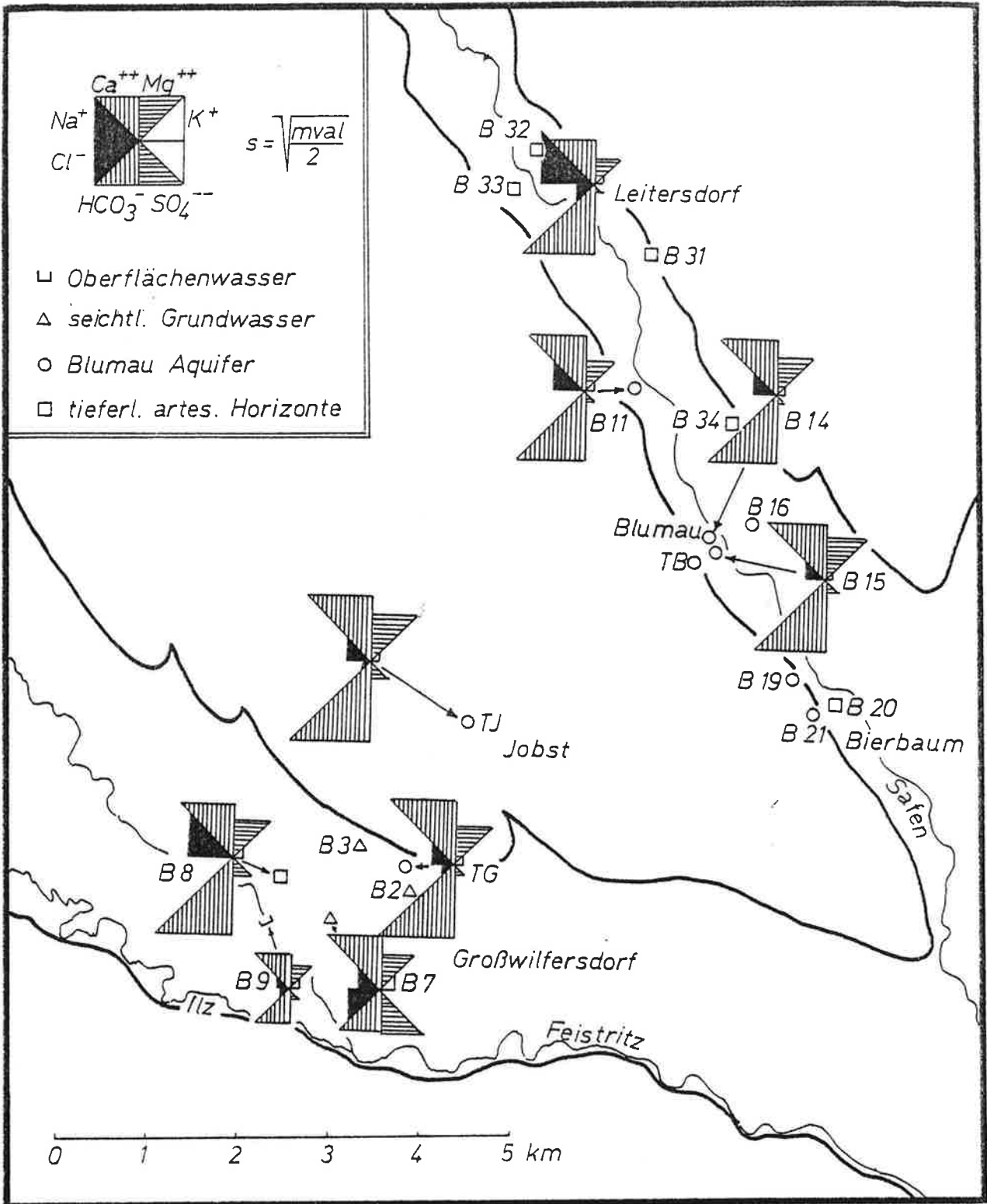


Fig. 30: Blumau Aquifer: Lage der Beprobungspunkte für Chemie und Umweltisotope; Ionenverteilung der Wässer vom November 1982

Tab. 6: Hydrochemische Analysen aus dem Untersuchungsgebiet Großwillersdorf - Blumau (z.T. aus J.N. ANDREWS et al., 1984)

Analysen: 1 = Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung Ia

2 = Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz

3 = Institut für Geothermie und Hydrogeologie der FGJ

Bohraufschluß	Datum	pH	Temp °C	SiO <sub>2</sub> mg/l	Lf µS	Na <sup>+</sup> mval/l	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Kat.	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Anio
B 9 Feistritz	2 3. 1.77				148		0,05		1,6	1,65	1,15		0,5	1,65
	3 Nov. 81	7,59	5,9			0,17	0,05	1,08	0,38	1,63	1,15	0,13	0,25	1,53
	3 Nov. 82	7,63	6,0	10,2		0,19	0,05	1,16	0,40	1,81	1,30	0,13	0,30	1,73
B 7 seichliegendes Grund- wasser Großwillersdorf (Tiefe: 5 m)	2 3. 1.77						0,17		3,88	4,05	2,25		1,8	4,05
	3 Nov. 81	6,55	10,5			0,39	0,06	2,25	0,99	3,99	1,63	0,74	0,85	3,22
	3 Nov. 82	6,59	10,7	18,0		0,51	0,08	2,91	1,06	4,58	1,70	0,95	1,89*	4,54
Testbohrung Großwillersdorf (Tiefe: 24 m)	3 14.11.78					0,21	0,01	2,79	1,09	4,10	3,89	0,08	0,12	4,09
	3 Sep. 79a	7,4		6,5		0,21	0,01	2,74	1,14	4,10	3,82	0,07	0,13	4,02
	3 Sep. 79b	7,4		6,3		0,20	0,01	2,65	1,04	3,90	3,72	0,07	0,13	3,92
	3 Nov. 81	7,25	11,4			0,58	0,04	3,84	1,30	5,76	5,23	0,19	0,07	5,49
	3 Nov. 82	7,31	11,6	29,0		0,47	0,04	3,79	1,29	5,63	5,50	0,16	0,14	5,80
Testbohrung Jobst (Tiefe: 35 m)	3 14.11.78					0,28	0,05	3,15	1,36	4,84	4,59	0,11	0,15	4,85
	3 Sep. 79a	7,6		12,5		0,31	0,05	3,24	1,31	4,91	4,67	0,12	0,16	4,95
	3 Sep. 79b	7,6		9,7		0,50	0,11	2,97	1,11	4,69	4,39	0,13	0,14	4,66
	3 Nov. 81	7,08	12,5			0,37	0,04	3,33	1,53	5,27	4,98	0,01	0,07	5,06
	3 4. 8.82a					0,25	0,04	4,11	2,03	6,43	6,17	0,10	0,35	6,62
3 4. 8.82b					0,24	0,04	4,25	2,09	6,62	6,26	0,11	0,35	6,72	
3 Nov. 82	7,11	12,5	30,6		0,49	0,04	4,17	2,10	6,83	6,50	0,10	0,30	6,90	
Testbohrung Blumau (Tiefe: 57 m)	1 27. 3.75	7,5	12,2		392	0,50	0,05	3,27	1,49	5,31	5,10	0,08	0,17	5,35

B 15	Blumau (Gross) (Tiefe: 64 m)	1	27. 3.75	7,7	12,4	385	0,48	0,05	3,03	1,55	5,11	4,90	0,08	0,17	5,25
		2	3. 1.77			387	0,05		5,00		5,05	4,75		0,3	5,05
		3	Sep. 79	7,6	12,9		0,49	0,05	3,07	1,47	5,08	4,84	0,09	0,16	5,09
		3	Nov. 81	7,40	12,4		0,41	0,03	2,98	1,60	5,02	4,69	0,01	0,10	4,80
		3	Nov. 82	7,40	12,3	27,9	0,44	0,03	2,86	1,65	5,00	4,80	0,01	0,20	5,01
B 14	Blumau (Hauptmann) (Tiefe: 60 m)	1	27. 3.75	7,9	12,5	358	0,53	0,03	2,91	1,28	4,75	4,51	0,08	0,15	4,74
		2	3. 1.77			342	0,37		4,28		4,65	4,45		0,2	4,65
		3	Nov. 81	7,48	12,3		0,47	0,03	2,82	1,24	4,56	4,32	0,01	0,11	4,44
		3	Nov. 82	7,45	12,3	28,1	0,50	0,04	2,79	1,27	4,63	4,60	0,01	0,10	4,71
B 17	Blumau (Meister) (Tiefe: 42 m)	1	27. 3.75	7,7	11,2	378	0,44	0,03	3,07	1,50	5,04	4,80	0,06	0,19	5,05
		2	3. 1.77			363	0,15		4,8		4,95	4,65		0,3	4,95
B 11	Schwarzmannshofen	2	3. 1.77			340	0,59		4,16		4,75	4,55		0,2	4,75
		3	Sep. 79	7,8	16,2		0,64	0,09	3,17	1,68	5,58	5,34	0,10	0,16	5,60
		3	Nov. 81	7,50	12,6		0,89	0,04	2,93	0,91	4,77	4,53	0,01	0,06	4,60
		3	Nov. 82	7,55	12,3	29,0	0,95	0,05	2,98	0,89	4,90	4,80	0,01	0,10	4,91
B 32	Leitersdorf (Tiefe: 96 m)	2	3. 1.77			397	3,29		2,36		5,65	5,45		0,2	5,65
		3	Nov. 81	7,75	14,0		2,86	0,05	1,77	0,51	5,19	4,78	0,28	0,10	5,16
		3	Nov. 82	7,82	14,1	21,3	3,00	0,05	1,78	0,50	5,33	5,00	0,30	0,10	5,40
B 8	Großwillfersdorf (Tiefe: 90 m)	2	3. 1.77			453	1,73		4,52		6,25	5,75		0,5	6,25
		3	Nov. 81	7,40	14,2		3,61	0,07	3,01	1,23	7,92	5,70	0,03	0,28	6,01
		3	Nov. 82	7,41	14,1	29,6	1,91	0,07	2,97	1,22	6,21	5,90	0,04	0,30	6,24

\* inkl. NO<sub>3</sub>

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurden im Rahmen der von der IAEA initiierten "Intercomparison Study of Groundwater Dating Methods" detaillierte hydrochemische Untersuchungen vorgenommen, die auch sorgfältige Feldmessungen (u.a. pH, Eh,  $O_2$ ,  $HCO_3^-$ ) einschlossen (J.N. ANDREWS et al., 1984). Die Auswahl der Probennahmestellen blieb gleich: Oberflächenwasser, seichtliegendes Grundwasser sowie der artesische Horizont von Blumau und tieferliegende gespannte Aquifere sollten aufgrund des unterschiedlichen Chemismus unterscheidbar sein. Eine solche Differenzierung ist bereits aus der Ionenverteilung (Fig. 30) abzuleiten, wobei in dieser Darstellung die Flächen der einzelnen gleichschenkelig-rechtwinkligen Dreiecke in Bezug zur Ionenkonzentration (in mval/l) zu setzen sind. Aus einer solchen Konfiguration von Dreiecken ist sowohl die Gesamtmineralisierung als auch die Ionenzusammensetzung abzulesen. Die geringste Mineralisierung aller Wässer kommt der Feistritz (B 9) zu, hier dominieren Calcium und Hydrogencarbonat.

Das seichtliegende Grundwasser des Brunnens B 7 in Großwilfersdorf weist eine chemische Zusammensetzung auf, die auf das Zusammenwirken von 3 Komponenten schließen läßt: Der Einfluß von Oberflächenwasser der Feistritz wird schon durch hydrologische Überlegungen nachgewiesen, das flußparallele Talgrundwasser bedingt eine höhere Mineralisierung vornehmlich durch gelöstes Ca, Mg und  $HCO_3$ , und die direkte vertikale Infiltration von der Oberfläche in der unmittelbaren Umgebung ist geprägt von anthropogenen Belastungen, ausgedrückt durch einen erhöhten Chlorid- und Nitratgehalt. Die gemeinsame Betrachtung dieser Faktoren läßt den Schluß zu, daß dieser Brunnen im unmittelbaren Einzugsgebiet des gespannten Horizontes von Blumau gelegen ist.

Verfolgt man den Blumau Aquifer von SW nach NE, zeigt sich

die höchste Mineralisierung im ersten Abschnitt (Testbohrungen Großwilfersdorf und Jobst), während im Grundwasser dieses Horizontes im Safental weniger gelöste Stoffe enthalten sind. Die Verteilung der einzelnen Ionen zeigt hingegen keine klar definierten Unterschiede, dies gilt auch innerhalb wiederholt durchgeführter Analysen. Eine diesbezügliche Ausnahme bildet lediglich Jobst, wo sich der Chemismus im Zuge von zwei Pumpversuchen (1979 und 1982) nennenswert änderte (Tab. 6). Wie der zweite Versuch gezeigt hat, steigt die Gesamtmineralisierung leicht an, innerhalb der Ionenverteilung hat der erste Test eine Erhöhung der Alkalien angezeigt. Da diese Bohrung am Rand der Tiefenrinne gelegen ist, dürften verschiedene - ansonsten möglicherweise stagnierende - Systeme durch die Pumpversuche aktiviert worden sein.

Die tieferliegenden Grundwässer in Großwilfersdorf und Leitersdorf stellen auch hydrochemisch völlig andere Aquifere dar. Der hohe Natriumgehalt dürfte das Ergebnis von Ionenaustauschprozessen im Kontakt mit Tonmineralen sein, während auf der Anionenseite das Bicarbonat dominant bleibt.

Auskunft über die Dynamik des gespannten Grundwassers geben auch Sättigungsberechnungen auf Calcit, Dolomit und Gips (J.N. ANDREWS et al., 1984), dargestellt in einem Längsprofil des Grundwasserkörpers (Fig. 31), beginnend mit den Aufschlüssen im Feistritztal bis nach Blumau und Schwarzmannshofen im Safental. Es fällt auf, daß im Anreicherungsgebiet deutliche Anzeichen einer chemischen Evolution vorliegen. Zwischen der Feistritz und dem ersten Aquiferaufschluß (Testbohrung Großwilfersdorf) herrschen hydrochemisch ungesättigte Verhältnisse vor, dokumentiert durch steigende Gehalte von  $\text{HCO}_3$ , Ca und Mg. Im Bereich zwischen den Testbohrungen Großwilfersdorf und Jobst stellt sich ein Gleichgewicht bezogen auf die Calcit-Mineralphase

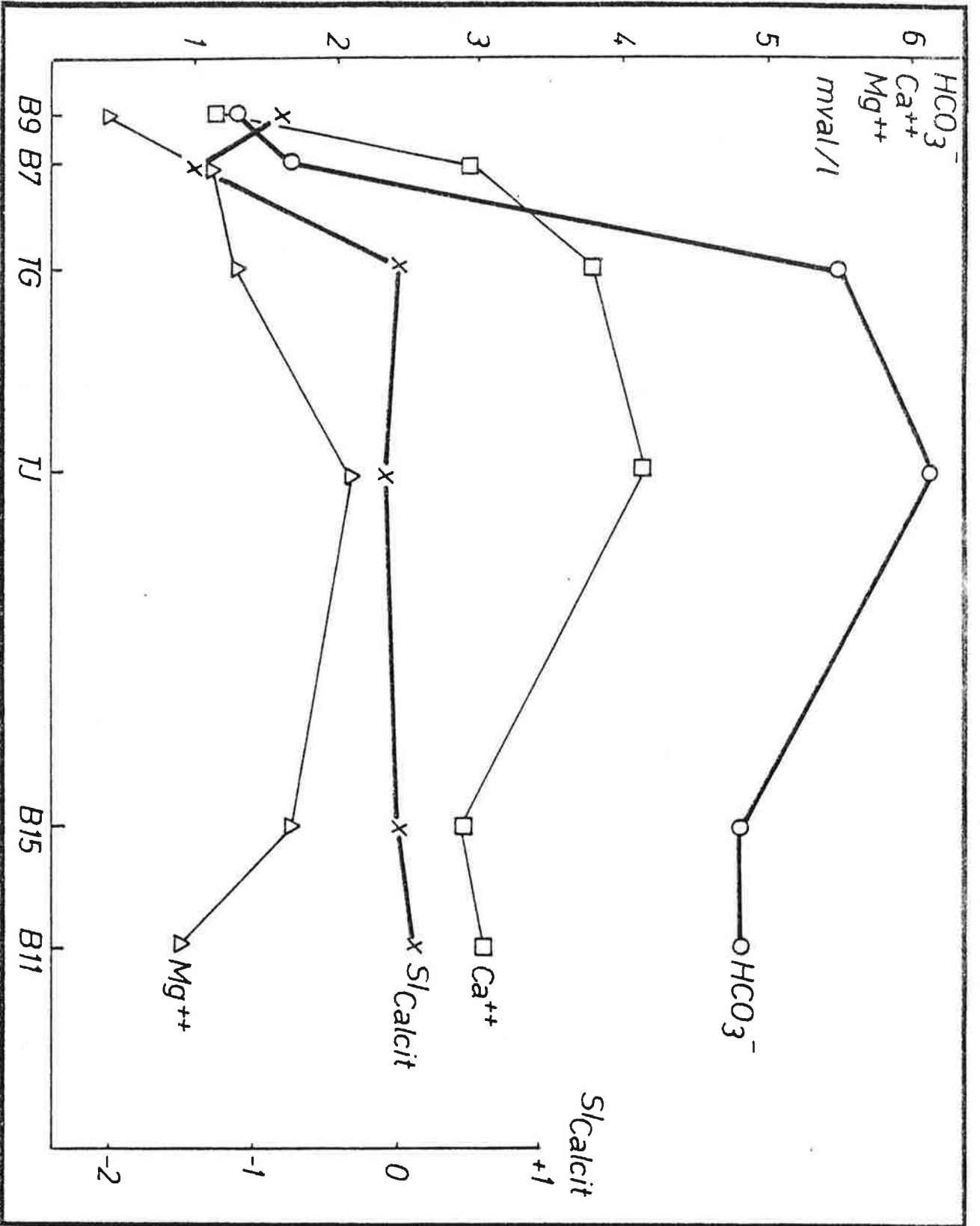


Fig. 31: Hydrochemische Längsprofile durch den Aquifer Blumau



ein, das heißt, es kann kein weiteres  $\text{CaCO}_3$  gelöst werden. Der Calcit-Sättigungsindex verändert sich in weiterer Verfolgung des Aquifers nicht mehr gravierend, das Wasser steht im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Das Verhältnis zu den anderen Carbonat- und Sulfat-Mineralphasen (Dolomit und Gips) verbleibt jedoch durchwegs im ungesättigten Bereich. Zwischen Jobst und den artesischen Aufschlüssen in Blumau - Schwarzmansshofen ist außerdem eine leichte Verminderung von Bicarbonat, Calcium und Magnesium festzustellen. Alle diese Tatsachen geben den eindeutigen Hinweis, daß entlang des untersuchten Aquifers keine Beimengung anderer Wässer (sei es von der Oberfläche oder von anderen Grundwasserfeldern) mit unterschiedlichem chemischen Habitus und daraus abzuleitendem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht erfolgt.

## 6. ANWENDUNG DER UMWELTISOTOPE

Die Anwendung von Umweltisotopen zur Erforschung von Tiefengrundwässern weist eine Geschichte von etwa zwei Dezennien auf. Sie beruht vor allem auf jenen Isotopen, die im Wassermolekül enthalten sind und dadurch am Wasserkreislauf teilhaben: Isotope des Wasserstoffs und Sauerstoffs. Von Bedeutung ist weiters auch die Wasserbewegung im Ökosystem (sogenannter "kleiner Wasserkreislauf"), der zum Erhalt und zum Aufbau der Biomasse notwendig ist. In diesen Abschnitt des Wasserkreislaufes fällt das Element Kohlenstoff und damit auch das Isotop Kohlenstoff-14.

Somit bilden die stabilen Isotope Deuterium, Sauerstoff-18 und Kohlenstoff-13 sowie das radioaktive Kohlenstoffisotop Kohlenstoff-14 (weniger das Radioisotop Tritium wegen seiner kurzen Halbwertszeit) eine wichtige Grundlage für die Kenntnis der Speicherung von Tiefengrundwässern,

und sie geben örtlich Ansätze für die Lokalisierung von Einzugsgebieten gespannter Grundwasserhorizonte.

### 6.1. Methodische Voraussetzungen

Bereits durch den Namen ausgedrückt, unterliegen die stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) auf ihrem Weg im Wasserkreislauf im groben keinen Änderungen. Dies bedeutet, daß die Konzentrationen stabiler Isotope (wenn kein Isotopenaustausch stattfindet) über Jahrtausende hinaus gleich bleibt und damit im Gegensatz zu den Veränderungen der chemischen Parameter steht. Aktuelle Änderungen der Isotopengehalte stellen sich bei Phasenumwandlungen (Verdunstung, Kondensation) ein: Bei der Verdunstung reichern sich die Isotope im Wasser an, wobei überdies durch thermodynamische Vorgänge im Zuge wachsender Verdunstungsgeschwindigkeit  $^{18}\text{O}$  stärker angereichert wird als  $^2\text{H}$ .

Die Konzentrationsbezeichnung geht von einem Standard aus, der sich als SMOV (Standard Mean Ocean Water) auf das Meerwasser bezieht und gibt die daraus resultierende positive oder negative Abweichung an. Durch das laufende Ausregnen verringert sich der Isotopengehalt mit wachsendem Abstand von der Küste. Von größter Bedeutung ist der sogenannte Temperatureffekt, der bei abnehmender Kondensationstemperatur eine gleichzeitige Abreicherung der Isotope in den Niederschlägen wiedergibt. Dieser Vorgang hat zur Folge, daß sich in den Niederschlägen ein jahreszeitlicher Gang von  $^2\text{H}$  und  $^{18}\text{O}$  abzeichnet. Während diese Art des Temperatureffektes für die Tiefengrundwässer praktisch nicht von Belang ist, muß dem ebenfalls temperaturabhängigen Zeiteffekt eine entscheidende Rolle zugebilligt werden: Unter Einbeziehung von langfristigen Klimaschwankungen, die mit den Änderungen der Kondensations- und Infiltrationstempe-

raturen einhergehen, ist sowohl eine Gruppierung von Tiefengrundwässern als auch sind Schlüsse auf das Grundwasseralter möglich.

Eine wesentliche Hilfe hierzu bietet der Gehalt an Kohlenstoff-14. Das über die kosmische Strahlung in die Atmosphäre gelangte  $^{14}\text{C}$  wird dort zu  $\text{CO}_2$  oxydiert und erreicht meist von der Biosphäre den Wasserkreislauf. Dieser Methode liegt die Vorstellung zugrunde, daß nach dem Absterben der biogenen Elemente im Wasser das durch den radioaktiven Zerfall umgewandelte  $^{14}\text{C}$  (Halbwertszeit 5730 Jahre) nicht mehr ersetzt wird. Allerdings muß die Produktionsrate von  $^{14}\text{C}$  zur Zeit des Absterbens der organischen Substanz dieselbe sein wie heute, ebenso wie die Verteilung des Kohlenstoffes in der Lithospäre, Biosphäre und Atmosphäre. Beide Voraussetzungen sind jedoch nicht gesichert, so daß die  $^{14}\text{C}$ -Werte korrigiert werden müssen, um absolute Altersangaben der Wässer zu erlangen. Diese Korrektur erfolgt einerseits über das stabile Isotop Kohlenstoff-13, andererseits über hydrodynamische Equilibra, weil das biogene  $^{14}\text{C}$ -haltige  $\text{CO}_2$  in der Bodenzone dem Infiltrationswasser zugeführt wird und im Aquifer fossiles  $^{14}\text{C}$  freie Carbonate lösen kann.

Das radioaktive Isotop Tritium ( $^3\text{H}$ ; Halbwertszeit 10,3 Jahre) hat bei der Beurteilung von Tiefengrundwässern nur jene Bedeutung, als rezente Wässer ausgegliedert werden können. Damit ist es möglich, lediglich eine zeitliche Differenzierung der letzten 30 - 35 Jahre vorzunehmen.

Somit können Isotopenmessungen auch als Hilfsmittel für die Kenntnis von Klimaschwankungen dienen (J. ZÖTL, 1971), umgekehrt können gesicherte Klimadaten der letzten Glazialzeit zur Korrektur von  $^{14}\text{C}$ -Modellaltern des Grundwassers herangezogen werden. Nach B. FRENZEL (1967) sind die beiden Hochglaziale der Würmvereisung vor etwa 18.000 bis 22.000

bzw. 40.000 bis 50.000 Jahren mit einer um etwa 12°C geringeren Lufttemperatur als im heutigen Mittel anzunehmen. Das Klima des dazwischenliegenden Interstadials würde etwa dem heutigen entsprechen, während die Auswirkungen des letzten Hochglazials bis vor etwa 8.000 bis 10.000 Jahren zu erkennen wären. Biologische Untersuchungsmethoden weisen vor ca. 5.000 bis 7.000 Jahren ein postglaziales Klimaoptimum aus, mit einer mittleren Lufttemperatur, die etwa 2°C höher lag als heute.

## 6.2. Übersicht des Isotopengehaltes in Grundwässern pannoner Aquifere

Isotopenhydrologische Untersuchungen aus dem zentralen Raum des Steirischen Beckens wurden jeweils in Zusammenarbeit mit den Labors der IAEA Wien und des Institutes für Radiohydrometrie München durchgeführt. So haben schon G.H. DAVIS et al. (1968) darauf hingewiesen, daß es in der Oststeiermark artesische Wässer gibt, die aus dem Pleistozän stammen, also mehrere tausend Jahre alt sein müssen. H. MOSER et al. (1972) haben diese Ergebnisse etwas spezifiziert, indem sie feststellten, daß der Deuteriumgehalt mit großer Tiefenlage der Aquifere abnimmt, was im groben einer Zunahme des Wasseralters gleichkäme.

### 6.2.1. Tritium

Das Radioisotop Tritium kann dazu beitragen, Tiefengrundwasser als solches zu identifizieren. Da man dieses Isotop im Wasser altersmäßig nur wenige Jahrzehnte zurückverfolgen kann, ist seine Anwendung lediglich auf den Beginn des unterirdischen Wasserkreislauf beschränkt.

Im Rahmen der Untersuchungen des gespannten Horizontes von

Blumau wurden auch Tritiummessungen durchgeführt. Bei allen Proben aus dem untersuchten Aquifer handelt es sich um tritiumfreies Wasser, was selbst für den dem Einzugsgebiet am nächsten liegenden Aufschluß, der Testbohrung Großwilfersdorf, gilt. Nur im Infiltrationsgebiet selbst (Feistritz und seichtliegendes Grundwasser in Großwilfersdorf) wird der Nachweis rezenten Wassers erbracht.

Weitere  $^3\text{H}$ -Daten außerhalb des Blumau Aquifers liegen vom artesischen Horizont Großhartmannsdorf I und von der Versuchsbohrung Obgrün II (V 2) vor. Beide Wässer führen kein Tritium, sind also hinsichtlich ihres Alters außerhalb der Datierungsmöglichkeit durch dieses Isotop.

#### 6.2.2. Stabile Isotope

Ein Großteil der in den Labors in Wien und München ausgearbeiteten Isotopendaten wurden im Rahmen wissenschaftlicher Abhandlungen publiziert (G.H. DAVIS et al., 1968; H. MOSER et al., 1972; K. PRZEWLOCKI, 1975; J.N. ANDREWS et al., 1984).

Eine Korrelation zwischen dem Deuteriumgehalt und der Tiefenlage des Aquifere bietet Fig. 32. Die von H. MOSER et al. (1972) gemachte Feststellung einer Abreicherung stabiler Isotope mit der Tiefe konnte andeutungsweise in Hainersdorf, eindeutig jedoch nur für die artesischen Wässer in Altenmarkt verifiziert werden, wo eine kontinuierliche Verminderung von  $^2\text{H}$  (-65 bis -77‰) zwischen einer Tiefenlage von 20 und 130 m auftritt.

In Großwilfersdorf liegen artesische Wässer aus einer Tiefe unter 70 m mit einer Ausnahme zwischen -75 und -85‰. Ähnliches gilt für Hainersdorf, wo nur ein Wert aus der

Reihe fällt. Sehr aufgesplittert sind die  $^2\text{H}$ -Daten in Obgrün, wo in gleicher Tiefe (20 - 25 m) Konzentrationsunterschiede von 8 % auftreten.

Keine tiefenbezogene Tendenz ist in den anderen Ortschaften zu erkennen, interessanterweise besonders im unteren Safental. Anzeichen einer hydraulischen Verbindung von Aquiferen könnten in Leitersdorf vorliegen: alle untersuchten Wässer befinden sich in einem ähnlichen Konzentrationsbereich. Es ist weiters augenscheinlich, daß die artesischen Wässer aus dem Raum Schwarzmansshofen - Blumau - Bierbaum ziemlich ähnliche Deuteriumwerte erreichen, was hinsichtlich ihrer unterirdischen Verweildauer zu kaum verschiedene Bewertungen führen dürfte.

In keines dieser Schemen sind die Wässer von Kleinsteinbach einzubinden. Ein unterirdischer Austausch von Grundwasser zwischen verschiedenen Aquiferen ist nicht auszuschließen. So ist das gespannte Wasser von zwei sehr seichten artesischen Brunnen (nur 4 - 5 m tief) isotopisch außerordentlich leicht ( $^2\text{H}$  ca. -75 ‰), ähnliche Werte erreichen der 217 m tiefe Dorfbrunnen und ein anderer, der ebenfalls über 100 m tief ist. Eine Anreicherung des seichten Horizontes durch Tiefengrundwasser - ob natürlich oder durch die Bohraufschlüsse - ist anzunehmen.

Es fällt weiters auf, daß die gespannten Grundwässer aus dem Raum Großwilfersdorf und Umgebung isotopisch am leichtesten sind, also die niedrigsten Deuteriumwerte aufweisen (Hainersdorf Nr. 10 bildet eine Ausnahme). Es wäre jedoch falsch, die niedrigen  $^2\text{H}$ -Konzentrationen unmittelbar, mit einem hohen Wasseralter zu korrelieren, weil

- a) einzelne gespannte Grundwässer auch älter sein könnten als das letzte Klimaminimum während der Würmeiszeit und

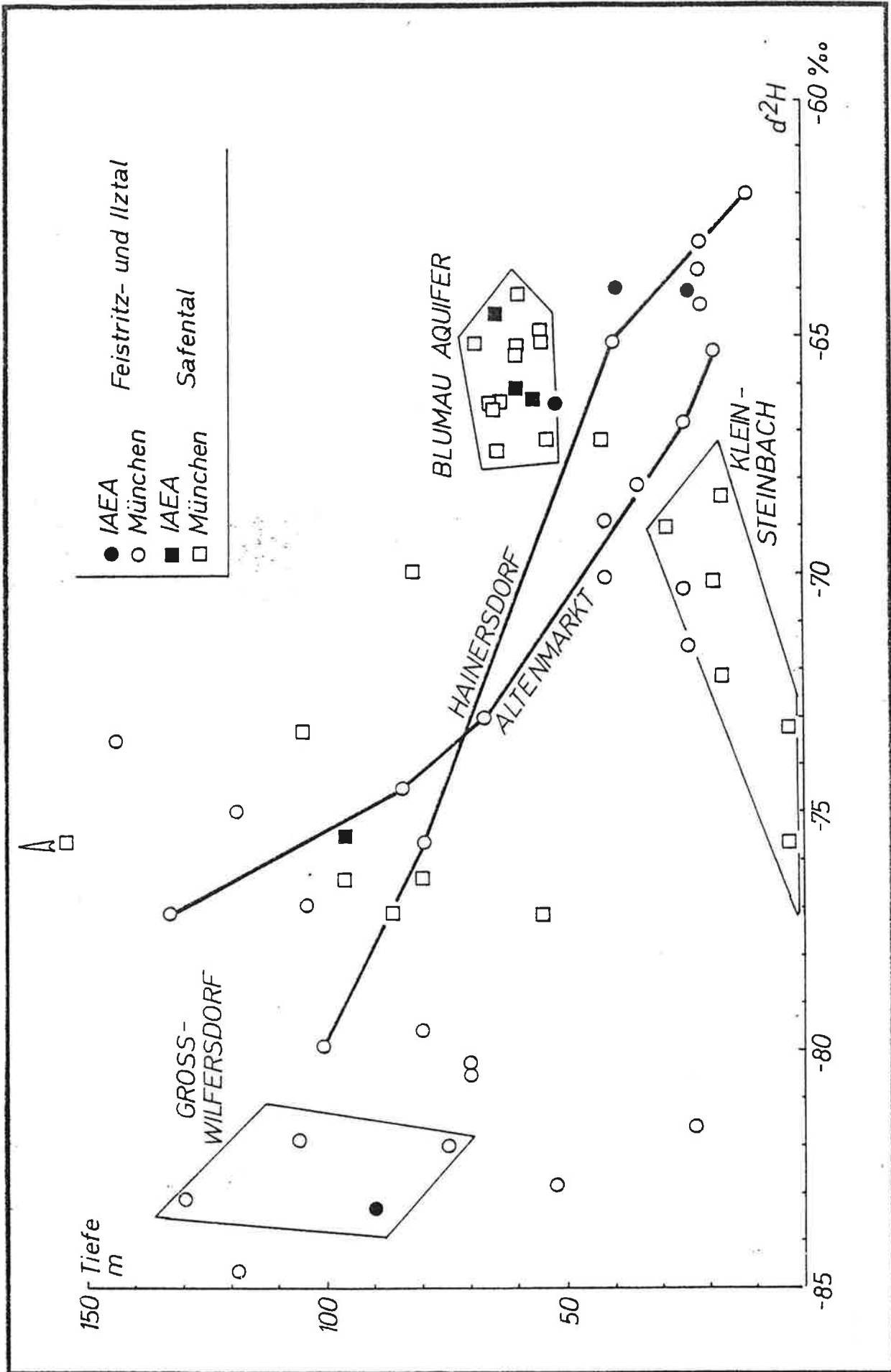


Fig. 32: Korrelation zwischen der Tiefenlage artesischer Horizonte und dem Deuteriumgehalt

b) sich die Klimaverbesserung seit dieser Zeit bis heute nicht kontinuierlich sondern in azyklischen Schwankungen vollzog.

Nicht von allen in Fig. 32 dargestellten Grundwässern liegen sowohl Messungen von  $^2\text{H}$  als auch von  $^{18}\text{O}$  vor. Vor allem die Übersichtsmessungen des Institutes für Radiohydrometrie beschränkten sich auf Deuteriumbestimmungen. Für jene, wo beide stabilen Umweltisotope erfaßt wurden, konnte in Fig. 33 eine Isotopenbeziehung unter Einschließung von Oberflächenwasser (Feistritz) und seichtliegendem Talgrundwasser hergestellt werden. Beiden letztgenannten Einheiten entstammen repräsentative Mittelwerte aus zwölfmaligen Meßserien (L. QUIJANO, 1977).

Vorerst ist anzumerken, daß alle untersuchten Wässer, sowohl die rezente als auch die Paläowässer, auf der Niederschlagslinie zu liegen kommen, die durch die Beziehung

$$d^2\text{H} = 8d^{18}\text{O} + 10$$

ausgedrückt wird. Dies bedeutet, daß die gespannten Grundwässer im Laufe ihrer unterirdischen Speicherung keinen Verdunstungsvorgängen oder Austauschreaktionen unterliegen. Daher können alle weiteren Überlegungen von den Bedingungen für die rezent infiltrierenden Wässer ausgehen. Die  $^2\text{H}$ -Werte des seichtliegenden Grundwassers im unteren Feistritz- und Safental liegen im Mittel bei etwa -65 bis -60 ‰ ( $^{18}\text{O}$  ca. -9,0 bis -8,5 ‰). Dieser Gehalt entspricht auch der Konzentration der Niederschläge des oststeirischen Alpenvorlandes. Es ist daher nicht verwunderlich, daß das Feistritzwasser infolge des temperaturbedingten Höheneffektes um etwa 5 ‰  $^2\text{H}$  leichter ist, wenn man bedenkt, daß das Einzugsgebiet dieses Flusses bis zum Wechsel zurückreicht. Nur wenig unterschiedlich vom seichtliegenden Grundwasser ist die Isotopenzusammensetzung des Blumau Aquifers.



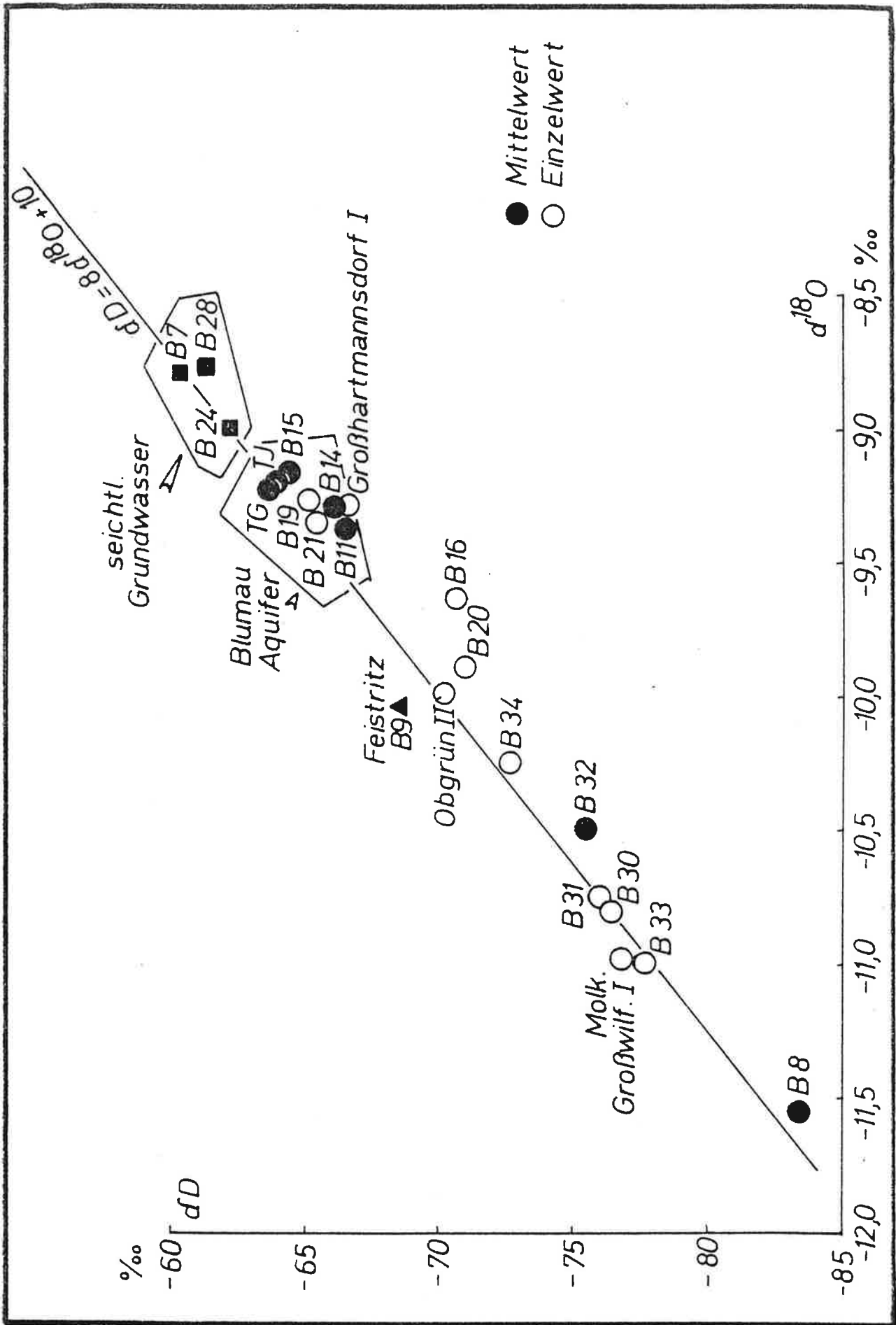


Fig. 33:  $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis ausgewählter Wässer des zentralen Steirischen Beckens

Dies beweist, daß sich die klimatischen Infiltrationsbedingungen für die Anreicherung des gespannten Horizontes kaum von den heutigen unterscheiden. Daraus ist der gültige Schluß zu ziehen, daß dieses Grundwasser (entnommen aus Hausbrunnen in Blumau) nicht aus einer Kälteperiode des Pleistozäns stammen kann. Ob es jünger oder sogar älter als der letzte glaziale Hochstand ist, vermag man ohne Korrelationsuntersuchungen mit anderen Isotopen (z.B.  $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ ) nicht zu klären.

Während bei der Feistritz der Höheneffekt zum Tragen kommt, könnte aufgrund der Abreicherung bei den artesischen Wässern von Obgrün, Leitersdorf und Großwilfersdorf der Zeiteffekt in Hinblick auf Klimaveränderungen zur Zeit der Grundwasseranreicherung im Vergleich zu heute eine Rolle spielen.

### 6.3. Aquifer von Blumau

Die isotopenhydrologischen Untersuchungen des Blumau Aquifers setzten etwa 1975 auf der Grundlage eines gemeinsamen Arbeitsprogrammes zwischen der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz und des IAEA ein. Es wurde mit der Zielsetzung aufgebaut, die Anreicherung des gespannten Grundwasserhorizontes - ob aus dem Niederschlag, aus Flußwasserversickerung der Feistritz oder aus dem seichtliegenden Grundwasser - abzuklären.

Die ersten Ergebnisse wurden in einem internen Bericht von L. QUIJANO (1977) zusammengefaßt. Eine Klärung der Infiltrationsbedingungen kann dabei von der Interpretation der Ganglinien stabiler Isotope von ausgewählten Wässern ausgehen. Eine Zusammenstellung aller Analysen artesischer Wasser durch die IAEA (1976 - 1982) findet sich in Tab. 7.

Tab. 7: Zusammenstellung der von der IAEA erarbeiteten Isotopenanalysen artesischer Wässer aus dem Bereich von Großwilfersdorf - Blumau

Nr.	Bezeichnung	Tiefe (m)	Datum	d <sup>2</sup> H (‰)	d <sup>18</sup> O	<sup>3</sup> H (TU)	<sup>14</sup> C (pmc)	d <sup>13</sup> C (‰)	korr. Alter (y)
TG	Testbohrung Großwilfersdorf	24	14.11.78	-64,4	- 9,3	1,4 <sup>±</sup> 0,2	47,8 <sup>±</sup> 1,1	-13,6	700-1000
			17. 9.79	-63,6	- 9,3	-0,6 <sup>±</sup> 1,0	47,3 <sup>±</sup> 1,2	-13,2	
			18. 9.79	-64,4	- 9,3	0,3 <sup>±</sup> 1,0	47,9 <sup>±</sup> 1,2	-13,3	
			13.11.81	-63,0	- 9,2		48,3 <sup>±</sup> 1,1	-13,5	
			22.11.82	-63,3		0,3 <sup>±</sup> 0,2	49,8 <sup>±</sup> 1,3	-14,0	
			22.11.82	-64,0	- 9,1	1,7 <sup>±</sup> 0,1	48,6 <sup>±</sup> 1,3	-14,0	
TJ	Testbohrung Jobst	35	14.11.78	-64,7	- 9,3	0,1 <sup>±</sup> 0,2	33,7 <sup>±</sup> 0,9	-13,6	2800-3800
			19. 9.79	-62,7	- 9,2	0,8 <sup>±</sup> 1,0	34,9 <sup>±</sup> 0,9	-13,6	
			20. 9.79					-13,7	
			13.11.81	-65,2	- 9,3		34,0 <sup>±</sup> 0,8	-14,1	
			23.11.82	-64,1	- 9,1		35,2 <sup>±</sup> 1,0	-13,7	
			23.11.82	-63,3	- 9,1	0,0 <sup>±</sup> 0,2	35,3 <sup>±</sup> 1,0	-13,7	
15	Blumau Nr. 10	64	21. 7.76	-63,4	- 9,30	0,1 <sup>±</sup> 0,2			4200-4800
			30. 4.77	-64,0	- 9,65				
			1. 6.77	-65,1	- 9,39				
			6. 7.78	-64,1	- 9,2	0,6 <sup>±</sup> 0,3	28,7 <sup>±</sup> 0,8	-11,6	
			17. 9.79	-63,1	- 9,2	-1,1 <sup>±</sup> 1,0	28,0 <sup>±</sup> 1,1	-11,8	
			13.11.81	-65,8	- 9,1		28,1 <sup>±</sup> 0,6	-11,0	
			24.11.82	-64,6	- 9,1	0,1 <sup>±</sup> 0,2	27,6 <sup>±</sup> 1,0	-12,5	
14	Blumau Nr. 7	60	21. 7.76	-66,5	- 9,50				5300-5500
			13.11.81	-66,2	- 9,3			-11,7	
			24.11.82	-66,2	- 9,3	0,2 <sup>±</sup> 0,2	25,2 <sup>±</sup> 1,0		
16	Blumau ÖBB	60	21. 7.76	-70,8	- 9,64				
19	Bierbaum Nr. 19	55	21. 7.76	-65,3	- 9,29				
20	Bierbaum ÖBB	82	21. 7.76		- 9,88	0,1 <sup>±</sup> 0,2			
			30. 4.77	-70,8	- 9,91				
			1. 6.77	-71,1	- 9,91				
21	Bierbaum Nr. 52	68	21. 7.76		- 9,26	0,2 <sup>±</sup> 0,2			
			30. 4.76		- 9,31				
			1. 6.76	-65,4	- 9,38				
11	Schwarzmannshofen Nr. 3	54	21. 7.76	-66,0	- 9,59	0,0 <sup>±</sup> 0,2			9100-9800
			30. 4.77	-66,3	- 9,36				
			1. 6.77	-66,4	- 9,53				
			6. 7.78	-66,8	- 9,4	0,2 <sup>±</sup> 0,3	15,6 <sup>±</sup> 0,6	-11,8	
			17. 9.79	-65,5	- 9,5	0,1 <sup>±</sup> 1,0	15,3 <sup>±</sup> 0,6	-11,3	
			12.11.81	-66,8	- 9,3		15,9 <sup>±</sup> 0,5	-12,1	
			24.11.82	-66,6	- 9,2	1,5 <sup>±</sup> 1,0	16,1 <sup>±</sup> 0,9	-12,4	
30	Kleinsteinsbach Dorfbrunnen	217	9. 3.77	-76,5	-10,80				
34	Kleinsteinsbach Nr. 11	18	9. 3.77	-72,6	-10,25				
31	Speilbrunn Dorfbrunnen	100	9. 3.77	-76,3	-10,78				
32	Leitersdorf ÖBB	96	9. 3.77	-77,3	-10,75				über 40000
			11.11.81	-75,7	-10,6				
			24.11.82	-75,5	-10,4	1,5 <sup>±</sup> 0,2	0,3 <sup>±</sup> 0,7	-10,2	
33	Leitersdorf Dorfbrunnen		9. 3.77	-77,6	-11,01				
8	Großwilfersdorf Kirche	80	21. 7.76	-83,5	-11,85				ca. 24000
			12.11.81	-83,3	-11,7		2,6 <sup>±</sup> 0,3	-10,7	
			22.11.82	-83,5	-11,4	0,3 <sup>±</sup> 0,2	2,4 <sup>±</sup> 0,7	-11,5	

Fig. 34 enthält den Jahresgang 1976/77 von 2 Probennahmestellen des seichtliegenden Grundwassers im Feistritztal bei Großwilfersdorf, der Feistritz und von mehreren artesischen Brunnen in Blumau. Auf den ersten Blick fällt auf, daß die beiden Ganglinien des seichtliegenden Grundwassers (B 2, B 7) beträchtliche Unterschiede aufweisen. Wie aus der Lage der beiden Probennahmestellen (Fig. 30) hervorgeht, ist Brunnen Nr. 2 am Talrand gelegen, wo die Möglichkeit der Versickerung seitlich zuströmender Oberflächengerinne in seichte Tiefen möglich ist. Dies läßt sich aus dem Ganglinienverlauf ableiten: Die hohen  $^2\text{H}$ -Werte im Herbst 1976 sind ein Ausdruck der isotopisch schweren Niederschläge des vorhergegangenen Sommers. Eine Tauperiode Anfang Jänner 1977 ließ den Schnee schmelzen und das Grundwasser anreichern, was sich in einem markanten Minimum des Deuteriumgehaltes im Februar 1977 ausdrückte. Aus dem stark schwankenden Gang ist eine repräsentative Mittelwertbildung innerhalb der Beobachtungszeit nicht möglich, da sich hier der Einfluß der Niederschläge unmittelbar durchpaust.

Wesentlich ruhiger ist hingegen die  $^2\text{H}$ -Ganglinie bei der Grundwasserbeobachtungsstelle B 7, die in Großwilfersdorf in Talmitte ca. 800 m von der Feistritz entfernt gelegen ist. Die Schwankungsamplitude des Deuteriums erreicht etwa 5%, die winterliche Tauperiode ist nur durch eine geringe Konzentrationsabnahme gekennzeichnet. Die Herkunft dieses seichtliegenden Grundwassers dürfte in erster Linie aus der Direktinfiltration des Niederschlages, allerdings bei einer geringen Sickergeschwindigkeit, stammen, zudem sind auch Komponenten der Feistritz als Uferfiltrat vorhanden. Die später (1981, 1982) gemessenen Werte bestätigen die Schwankungsarmut des Deuteriumgehaltes. Ein Mittelwert von ca. -61‰ für Deuterium bzw. -8,8‰ für Sauerstoff-18 ist für die seichtliegenden Grundwässer des oststeirischen Raumes mit einer vorwiegend lokalen Anreicherungskomponente repräsentativ.

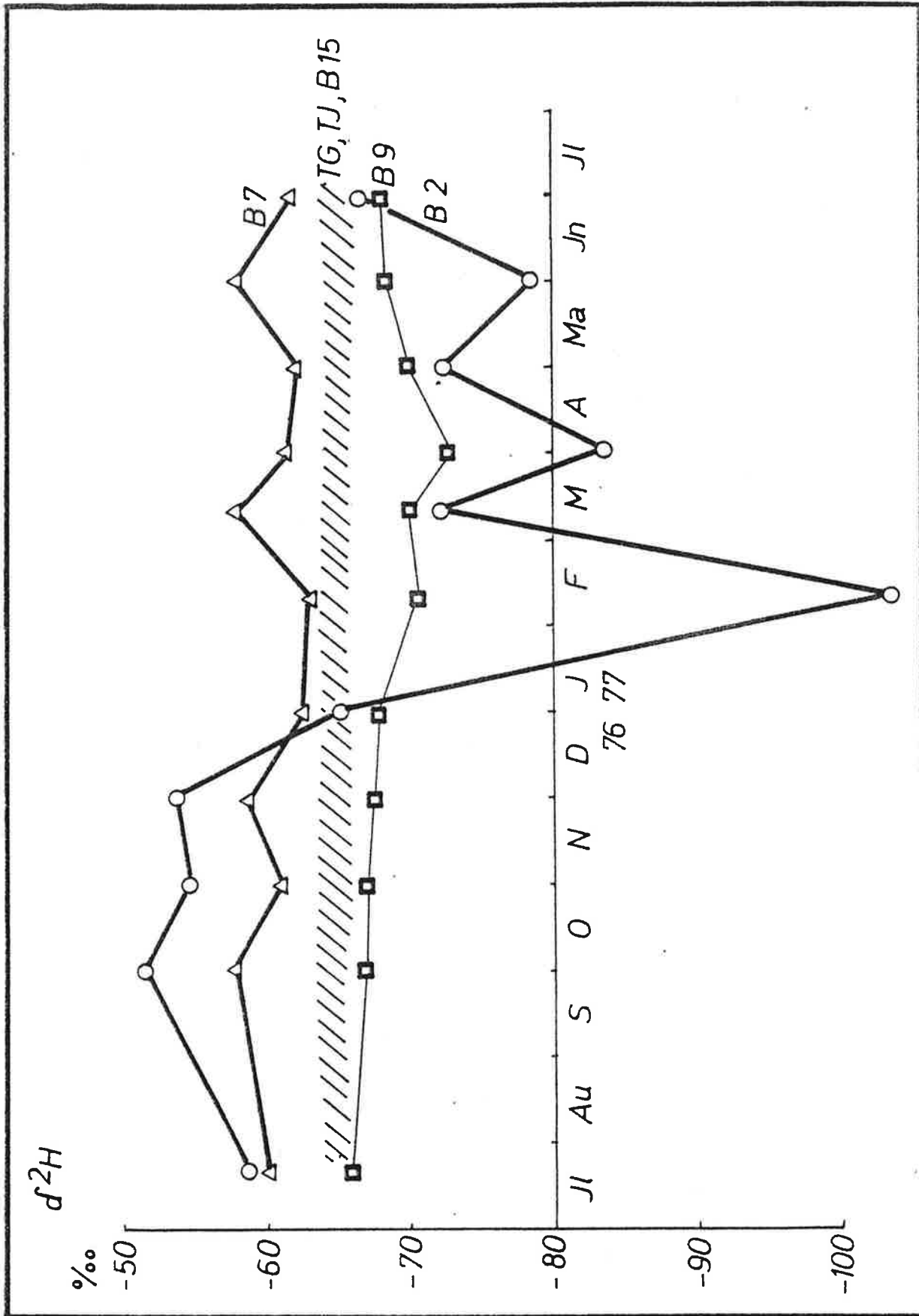


Fig. 34:  $^2\text{H}$ -Ganglinien ausgewählter Wässer aus dem Raum Großwillfersdorf - Blumau 1976/77

Sehr ausgeglichen ist der Gang des  $^2\text{H}$ -Gehaltes der Feistritz (B 9). Er liegt im Durchschnitt etwa 8‰ unter jenem des seichtliegenden Grundwassers. Die Schneeschmelze ist deutlich erkennbar etwas in das Frühjahr hinausgerückt, und auch in der absoluten Konzentration liegen die Werte bedeutend unter jenen von B 7. Die ist aus dem höherliegenden Einzugsgebiet der Feistritz in den Fischbacher Alpen und am Wechsel ableitbar.

Zwischen der Ganglinie der Feistritz und jener von B 7 liegen die  $^2\text{H}$ -Gehalte sowohl der etwa 60 m tiefen Hausbrunnen von Blumau als auch jene der Testbohrungen in Großwilfersdorf und Jobst. Die durchwegs gleichen Meßwerte repräsentieren einen gut durchmischten Aquifer. Daraus resultierend weist der Deuteriumgehalt des Blumau Aquifers auf ein Mischwasser von Feistritz und seichtliegendem Grundwasser hin, vorausgesetzt, die artesischen Wässer von Blumau sind noch nicht so alt, daß sich ein Zeiteffekt als Ausdruck einer Klimaveränderung hätte einstellen können. Eine genaue Identifizierung bedarf daher eine Korrelation mit  $^{14}\text{C}$ -Messungen.

In den Jahren 1978-1982 wurde in einer Kooperation zwischen dem Institut für Geothermie und Hydrogeologie am Forschungszentrum Graz und der IAEA Wien sowie anderen ausländischen Forschungsinstitutionen ein Programm zur Datierung von gespannten Grundwässern durchgeführt (J.N. ANDREWS et al., 1984). Ziel dieser Untersuchungen war, Methoden zur Altersbestimmung von Grundwässern in einem hydrogeologisch bereits gut bekannten Areal direkt zu vergleichen, um dadurch ihre Vor- und Nachteile besser gegeneinander abwägen zu können. Wichtige Parameter waren dabei die "konventionellen" Umweltisotope Deuterium, Sauerstoff-18, Tritium, Kohlenstoff-13 und Kohlenstoff-14. Die einzelnen Meßdaten sind Tab. 7 zu entnehmen und stammen ausschließlich vom Labor der IAEA.

Für die Interpretation der Ergebnisse soll nochmals auf Fig. 33 hingewiesen werden: Alle Wässer liegen auf oder in unmittelbarer Nähe der Niederschlagsgeraden. Weiters wird darin die oben gemachte Aussage bestätigt, daß sich das Grundwasser des Blumauer Horizontes aus einer Mischung von seichtliegendem Grundwasser und Feistritzwasser zusammensetzt. Beide Mischungskomponenten sind rezenteren Alters, was aus dem Tritium- und dem hohen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt (ca. 100 pmc oder % modern) geschlossen werden kann.

Auch in mehrmaligen Bestimmungen änderte sich der  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Gehalt nicht, was als Zeichen für die gute Durchmischung des Horizontes auch bereits bei der Testbohrung Großwilfersdorf zu werten ist. Diese gute Reproduzierbarkeit wiederholter Messungen gespannter Grundwässer erhöht auf der anderen Seite auch die Wertigkeit von Einzelbestimmungen, die in Fig. 33 dargestellt sind. Die Einzelwerte im unteren Bereich der Niederschlagsgeraden von Fig. 33 können auf mehrmalige Messungen in B 8 (Großwilfersdorf) und B 32 (Leitersdorf) bezogen werden, die gegenüber den Wässern von Blumau im  $^{18}\text{O}$ -Gehalt um etwa 1,5 bis 2% abgereichert sind und daher ihre Infiltration unter kälteren klimatischen Bedingungen vor sich gegangen sein muß. Im Safental nördlich von Blumau dürfte ein Tiefenaquifer ausgebildet sein, der mit dem ÖBB-Brunnen in Leitersdorf (B 32) sowie den Dorfbrunnen in Kleinsteinbach (B 30), Speilbrunn (B 31) und Leitersdorf (B 33) in Zusammenhang steht.

Eine Korrelation mit  $^{14}\text{C}$ -Werten zeigt (J.N. ANDREWS, 1984), daß im Blumau Aquifer keine Wässer gespeichert sind, deren Infiltration auf die Zeit des letzten glazialen Hochstandes zurückgehen. Auf der anderen Seite weist das isotopisch leichteste Grundwasser (B 8 in Großwilfersdorf) nicht den niedrigsten Radiocarbongehalt aller untersuchten Wässer auf, dies trifft für den Tiefenhorizont von Leitersdorf zu. Damit muß der allgemeinen Überlegung widersprochen werden,

daß mit einer Abreicherung der stabilen Wasserstoff- und Sauerstoffisotope ein höheres Wasseralter einhergeht.

#### 6.4. Identifizierung von Paläowässern aus Deuterium-, Sauerstoff-18-, Kohlenstoff-13- und Kohlenstoff-14-Gehalten

Die Antwort auf die Frage nach der Aufenthaltsdauer des Wassers im Untergrund - sowohl als Sicker- als auch als Grundwasser - wird dadurch erschwert, daß das unterirdische Wasser keine einheitliche Verweilzeit besitzt, sondern eine Mischung von Wässern verschiedenen Alters darstellt. Man muß daher von einer "mittleren unterirdischen Verweilzeit" sprechen.

Bei der Altersbestimmung nach der Kohlenstoff-14-Methode geht man davon aus, daß das Gestein wegen seines hohen Alters keinen Radiokohlenstoff mehr enthält, Tiefengrundwasser also nur mehr jenen Anteil von  $^{14}\text{C}$  mit sich führt, der aus der Zeit der Infiltration stammt und noch nicht zerfallen ist. Dieser Gehalt ist daher immer geringer als im biogenen  $\text{CO}_2$  des Bodens. Die größte Schwierigkeit besteht jedoch darin, die ursprüngliche Konzentration von Kohlenstoff-14 im Infiltrationsgebiet als Ausdruck von 100% rezentem  $^{14}\text{C}$  im Boden- $\text{CO}_2$  zusammen mit dem  $^{14}\text{C}$ -freiem Carbonat anzugeben (H. DÖRR et al., 1987).

In der Studie von J.N. ANDREWS et al. (1984) wurde für die Justierung von  $^{14}\text{C}$ -Daten in absolute Altersangaben eine Reihe von Korrekturmodellen angewandt: Es war notwendig, über die Berechnung thermodynamischer Gleichgewichte chemische Reaktionen im Austausch zwischen Wasser und Gestein im Hinblick auf das  $\text{CO}_2$ -Angebot zu erkennen. Überdies wurde versucht, über das  $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ -Verhältnis des biogenen  $\text{CO}_2$  und des Carbonates die  $^{14}\text{C}$ -Konzentration zur Zeit der



Tab. 8: Repräsentative Isotopenwerte für Tiefengrundwässer der pannonen Schichtfolge  
im östlichen Steirischen Becken (z.T. aus J.N. ANDREWS et al., 1984)

Örtlichkeit	Tiefe (m)	d <sup>2</sup> H (‰)	d <sup>18</sup> O (‰)	d <sup>13</sup> C (‰)	<sup>14</sup> C (pmc)	korr. Alter (Jahre)
Testbohrung Großwilfersdorf	24	-63,8	- 9,24	-13,6	48	700-1000
Testbohrung Jobst	35	-64,0	- 9,20	-13,7	35	2800-3800
Blumau Nr. 10 (B 15)	64	-64,3	- 9,17	-11,7	28	4200-4800
Blumau Nr. 7 (B 14)	60	-66,2	- 9,30	-11,7	25	5300-5500
Schwarzmannshofen Nr. 3 (B 11)	54	-66,5	- 9,37	-11,9	16	9100-9800
Leitersdorf ÖBB (B 32)	96	-75,6	-10,50	-10,2	0,3	über 40000
Großhartmannsdorf I	55	-66,4	- 9,3	-11,1	19	7000-7600
Obgrün II (V 2)	23	-70,3	-10,0	-10,3	11	ca. 17000
Großwilfersdorf (Molkerei I)	104	-76,9	-10,98		0,3	über 40000
Großwilfersdorf (Molkerei II)	144	-73,5	-11,02		1,3	ca. 35000
Großwilfersdorf-Kirche (B 8)	80	-83,4	-11,6	-11,1	2,5	ca. 24000
Stegersbach	116	-75,6	-10,96		11	ca. 18000
Unterschützen	279	-69,8	-10,53		1,7	ca. 33000

Infiltration zu bestimmen. Schließlich war es auch möglich, das seichtliegende Grundwasser als "initial concentration" für die Korrekturberechnungen heranzuziehen. Alle diese angewandten Modelle ergaben ähnliche Wasseralter (Tab. 8).

Diese Aufstellung enthält neben dem  $^{14}\text{C}$ -Gehalt und dem korrigierten Wasseralter auch die Ergebnisse von Messungen stabiler Isotope von Wässern aus dem Untersuchungsraum. Es handelt sich dabei ausschließlich um Messungen der IAEA, entweder aus kooperativen Studien (G.H. DAVIS et al., 1968; J.N. ANDREWS et al., 1984) oder Einzeluntersuchungen.

Die Kombination von  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  und  $^{14}\text{C}$  als paläoklimatische Indikatoren infolge des temperaturbedingten Zeiteffektes wurde bereits erwähnt, ohne daß jedoch in der Oststeiermark eine zeitliche Zuordnung von Grundwässern zu bestimmten Klimaperioden möglich war. G.H. DAVIS et al. (1968), J. ZÖTL (1971), H. MOSER et al. (1972) und J.N. ANDREWS et al. (1984) haben aber zumindest Hinweise dafür gegeben, daß im Steirischen Becken Grundwässer lagern, deren Infiltration bis in die Zeit glazialer Hochstände zurückreichen.

Untersuchungen hinsichtlich der Anwendung von Umweltisotopen für Klimaveränderungen des auslaufenden Pleistozäns wurden aber auch durch V.I. FERRONSKY et al. (1983) durchgeführt. Sie weisen in einer Grundwasserstudie in Kasachstan nach, daß vor etwa 30000 Jahren - wahrscheinlich am Ende eines Interstadials - das Klima langsam schlechter wurde und sich in der Folge ein Temperaturminimum vor etwa 20000 bis 14000 Jahren einstellte. Auffällig ist dabei, daß sich das Klima vor ca. 14000 Jahren innerhalb von nur 2000 Jahren stark verbesserte, der  $^2\text{H}$ -Gehalt stieg um etwa 15%. ( $^{18}\text{O}$  um 1,5%) an. Untersuchungen an Eiskernen der Arktis brachten ähnliche Ergebnisse.

Aufgrund der Vorarbeiten in der Oststeiermark und Literaturhinweisen wurde versucht, für das Untersuchungsgebiet das

$^2\text{H}$ - $^{18}\text{O}/^{14}\text{C}$ -Verhältnis von gespannten Grundwässern paläoklimatischen Betrachtungen gegenüberzustellen. Umgekehrt müßte es aber auch möglich sein, das Paläoklima als Kontrolle für die absolute Altersdatierung durch die Kohlenstoff-14-Methode zu verwenden. Eine Korrelation der in Tab. 8 aufgelisteten Sauerstoff-18-, Deuterium- und Kohlenstoff-14-Daten bietet Fig. 35. Sie enthält sowohl Mittelwerte von mehrmaligen Bestimmungen als auch Einzelmessungen. Zur besseren Verfolgung der Beziehung wurden noch zwei Wässer aus dem südlichen Burgenland (aus Stegersbach und Unterschützen), die ebenfalls aus pannonen Aquiferen stammen, in die Darstellung miteinbezogen.

Aus Fig. 35 geht hervor, daß die Grundwässer in der  $^{14}\text{C}$ -Spanne zwischen rezemem Radiokohlenstoff und ca. 16 pmc Infiltrationsbedingungen entstammen, die mit dem heutigen Klima durchaus vergleichbar sind: Der  $^{18}\text{O}$ -Gehalt liegt bei -9,5 bis -9 ‰. Zu dieser Gruppe gehört der gesamte Aquifer von Blumau mit seinen Aufschlüssen Testbohrung Großwilfersdorf, Testbohrung Jobst, B 15 (Blumau Nr. 10), B 14 (Blumau Nr. 7) und B 11 (Schwarzmannshofen Nr. 3). Eine Verminderung des  $^{14}\text{C}$ -Gehaltes mit der Zunahme der Entfernung vom Infiltrationsgebiet und damit in Fließrichtung des Grundwassers ist unverkennbar. Dieser Gruppe zugehörig ist außerdem das Wasser der Versuchsbohrung Großhartmannsdorf I im Feistritztal, deren Horizont jedoch in keiner Verbindung mit dem Blumau Aquifer steht. Unter Bezugnahme auf V. I. FERRONSKY et al. (1983) müßten alle diese Wässer jünger als 14000 Jahre sein. Tatsächlich wird für das älteste dieser Grundwässer, B 11 (Schwarzmannshofen), ein korrigiertes  $^{14}\text{C}$ -Alter von knapp 9000 Jahren angegeben.

Die nächstältesten gespannten Grundwässer sind mit etwa 11 pmc in Obgrün (Testbohrung V 2) und in Stegersbach aufgeschlossen. Sowohl  $^2\text{H}$ - als auch  $^{18}\text{O}$ -Messungen weisen darauf hin, daß zur Zeit ihrer Infiltration ein etwas schlechteres Klima als heute geherrscht haben muß.

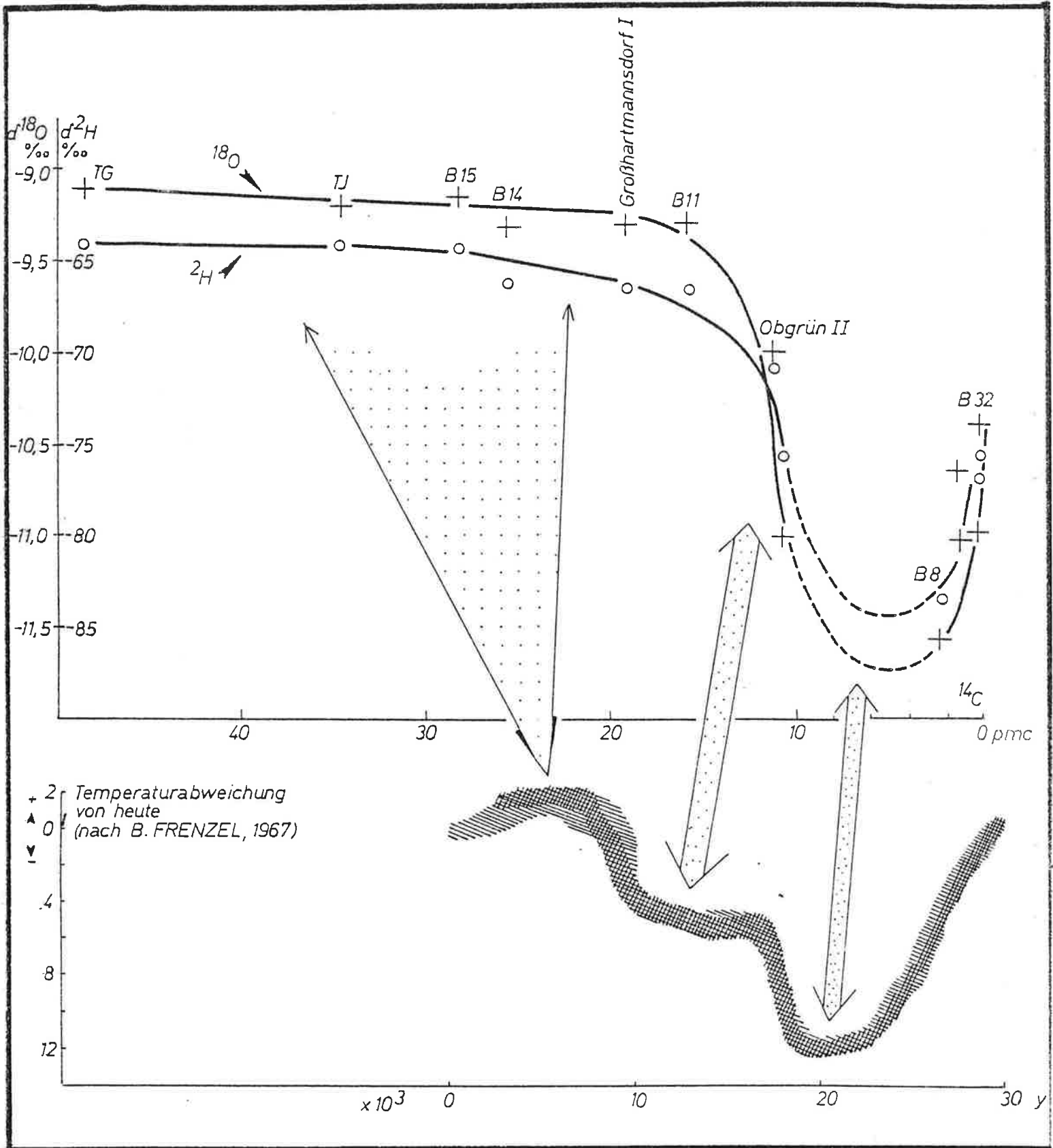


Fig. 35: Sauerstoff-18-, Deuterium- und Kohlenstoff-14-Gehalt artesischer Wässer der pannonen Schichtfolge des östlichen Steirischen Beckens als Ausdruck eines temperaturbedingten Zeiteffektes im Vergleich zu einer Klimaklassifizierung (nach B.FRENZEL, 1967) des Jüngstpleistozäns

Der niedrigste Gehalt an stabilen Isotopen des gesamten Untersuchungsgebietes ist dem Grundwasser des etwa 80 m tiefen Aquifers von Großwilfersdorf eigen (B 8). Die Sauerstoff-18-Konzentration ist mit  $-11,5 \%$  um fast  $2,5 \%$  geringer als bei den rezenten Infiltrationswässern. U. SIEGENTHALER & H.A. MATTER (1983) haben für den Niederschlag in Europa einen Korrelationskoeffizienten von etwa  $0,35 \%$   $d^{18}O$  errechnet. Dies ergäbe für das Grundwasser des 80 m tiefen Horizontes von Großwilfersdorf eine Infiltrationstemperatur, die um etwa  $7^\circ C$  niedriger ist als heute. Trotz des niedrigsten  $^2H$ - und  $^{18}O$ -Gehaltes ist das Grundwasser dieses Horizontes nicht das älteste. Gäbe man diesem Wasser das Attribut der niedrigsten bekannten Infiltrationstemperatur, müßte man das absolute Wasseralter mit ca. 20000 Jahren anschätzen.

Die ältesten Grundwässer mit einem Radiocarbongehalt von unter  $2,0 \text{ pmc}$  sind isotopisch wieder etwas schwerer. Praktisch kein  $^{14}C$  enthalten die Wässer der Bohrungen Großwilfersdorf Molkerei I (104 m tief) und B 32 (Leitersdorf ÖBB). Auf der anderen Seite liegt der  $^{18}O$ -Gehalt von B 32 um über  $1 \%$  über jenem von B 8, dem am meisten abgereicherten Grundwasser des Untersuchungsgebietes. Dieser Konzentrationsunterschied wird durch die Klimaveränderung hervorgerufen. Die absolute Altersdatierung dieser fast frei von rezentem Radiokohlenstoff befindlichen Tiefengrundwässer ist wesentlich schwieriger als bei den vorher besprochenen. Sowohl von B. FRENZEL (1967) als auch von V.I. FERRONSKY et al. (1983) wurde vor etwa 30000 Jahren ein interstadiales Klimaoptimum angedeutet. Nach dem  $^{14}C$ -korrigierten Wasseralter wäre eine solche Temperaturerhöhung schon etwas früher, möglicherweise vor etwa 40000 Jahren, anzusetzen.

Aus der  $^2H$ - $^{18}O$ / $^{14}C$ -Beziehung, vor allem im niedrigen Konzentrationsbereich, ergibt sich eine eindeutige altermäßige Differenzierung der Grundwässer, die sich mit paläoklima-

tischen Schwankungen korrelieren läßt. Mit der Nachweisgrenze der  $^{14}\text{C}$ -Altersdatierung vor möglicherweise etwa 40000 Jahren - repräsentiert durch das Grundwasser von Leitersdorf (B 32) - und einer  $^{18}\text{O}$ -Konzentration von knapp unter -10 ‰, befindet man sich zweifelsohne im oder am Rande eines Interstadials der Würmeiszeit. In der Folgezeit verschlechterte sich das Klima, nachgewiesen in den artesischen Wässern von Unterschützen und des Molkereibrunnens I von Großwilfersdorf, bis vor etwa 25000 - 20000 Jahren der Temperaturtiefstand erreicht wurde (Aufschluß B 8). Aus den Isotopenmessungen geht hervor, daß sich im Zeitraum zwischen 16000 und 10000 Jahren vor der Gegenwart das Klima erheblich verbessert haben muß, während nach der  $^{18}\text{O}$ - $^2\text{H}/^{14}\text{C}$ -Relation in den letzten zehn Jahrtausenden keine gravierenden Klimaschwankungen nachweisbar sind.

Damit muß im groben die absolute Angabe nach dem korrigierten  $^{14}\text{C}$ -Alter für die untersuchten Wässer als richtig angesehen werden. Dieser nunmehr gefestigten Annahme kommt aber sicherlich zugute, daß der  $\text{CO}_2$ -Eintrag vulkanischen Ursprungs weitgehend unter 20 mg/l verbleibt und damit keine nennenswerte Verminderung des aus der Biosphäre stammenden Radiokohlenstoffs hervorruft.

Die paläoklimatischen Auswirkungen auf die Infiltrationstemperatur alter Grundwässer werden von J.N. ANDREWS et al. (1984) durch die Untersuchung gelöster Edelgase im Grundwasser bestätigt. Sie können zur Abschätzung der Temperatur während der Versickerung herangezogen werden, als sie mit der Atmosphäre im Gleichgewicht standen. Für alle Wässer des Blumau Aquifers wurde eine Infiltrationstemperatur zwischen 8 und 9°C berechnet, die unter Berücksichtigung der Berechnungsgenauigkeit durchaus mit der heutigen vergleichbar ist. Bedeutend niedriger - zwischen 4 und 5°C - sind die Ausgangstemperaturen für die Wässer der Tiefenhorizonte von Leitersdorf und Großwilfersdorf.

Daraus ist abzuleiten, daß die beiden letztgenannten Grundwässer zu kühleren klimatischen Bedingungen eingesickert sind und ihre unterirdische Verweilzeit jene der Grundwässer des Blumauer Horizontes übersteigen muß. Eine gute Übereinstimmung zwischen den Edelgas-Paläotemperaturen und den absoluten  $^{14}\text{C}$ -Wasseralter ergaben auch Untersuchungen in der Großen Ungarischen Tiefebene (J. DEAK et al., 1987).

### 6.5. Anwendung nichtkonventioneller Umweltisotope

Die Untersuchung von Grundwässern schließt in hohem Maße auch die experimentelle Verwendung neuester Methoden ein, da nur dadurch ein wissenschaftlicher Fortschritt in der Erforschung dieser Materie eintritt, der sich für die Praxis auswirken kann.

Für die vergleichenden Altersdatierungen im Blumau Aquifer wurde mit der IAEA Wien eine wissenschaftliche Kooperation geschlossen, an der noch verschiedene andere Institutionen mit nachstehenden methodischen Schwerpunkten teilhatten:

- Physikalisches Institut, Universität Bern: Argon-39, Krypton-85;
- Geophysical Isotope Laboratory, University of Copenhagen: Silicium-32;
- School of Chemistry, University of Bath/UK: Helium-4, Radium-226, Radon-222, Uran-234/238.

#### 6.5.1. Argon-39 und Krypton-85

Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium erlaubt Altersdatierungen von Grundwässern bis maximal 50 Jahre, die Meßbreite von Kohlenstoff-14 erstreckt sich zwischen etwa 500 und 40000 Jahren. Im Bereich zwischen den Nachweisgren-

zen dieser beiden Isotope besteht eine empfindliche Lücke, die die Entwicklung neuer Methoden in der Isotopenhydrologie erfordert, die sich u.a. auf die radioaktiven Edelgasisotope  $^{39}\text{Ar}$  und  $^{85}\text{Kr}$  stützt. Die Halbwertszeit von 269 Jahren des Argon-39-Isotops fügt sich in den offenen Datierungsbereich zwischen Tritium und Kohlenstoff-14 ein. Da für die Messung etwa 2 - 3 l Argon benötigt werden, müssen die in ca. 15 t Wasser enthaltenen Luftgase extrahiert werden. Dazu wird das durch ein Extraktionsgefäß strömende Wasser auf über 95°C erhitzt und die bei geringem Überdruck entweichenden Gase aufgefangen. Das entwickelte Verfahren gestattet die Entnahme einer Probe für nur eine  $^{39}\text{Ar}$ -Analyse in ca. 15 Stunden. Für die  $^{85}\text{Kr}$ -Proben genügt die Entgasung von 1 - 2 t Wasser, was in ca. 2 Stunden erfolgen kann. Aus der extrahierten Luft müssen nun die Edelgase vom Sauerstoff, Stickstoff und  $\text{CO}_2$  separiert und in der Folge ausgezählt werden.

Was die Interpretation der Meßwerte betrifft, so wird die generelle Fließbewegung im Aquifer gegenüber den anderen Isotopenbestimmungen als konform angesehen, doch bezüglich des absoluten Alters der Grundwässer bestehen große Differenzen zu den Kohlenstoff-14-Messungen. Eine der Möglichkeiten dieser großen Unterschiede könnte die unterirdische Produktion von Argon-39 aus den Feldspäten sein, die eine absolute Alterseinstufung beeinträchtigt.

#### 6.5.2. Uran-234/238-Disequilibrium

Die meisten Minerale in den Gesteinen enthalten eine nahezu gleichmäßige Beimengung von Uran. Infolge der relativ kurzen Halbwertszeit des Isotops Uran-234 ( $25 \cdot 10^4$  Jahre) kann ein radioaktives Gleichgewicht zwischen den Isotopen Uran-234 und Uran-238 erwartet werden. Einige chemisch-physikalische Betrachtungen weisen jedoch darauf hin, daß



bei Kontakt des Festen mit einem flüssigen Körper Uran-234-Atome von den Mineralen leichter frei werden als Uran-238-Atome. Daher wird das Grundwasser mit  $^{234}\text{U}$ -Isotopen angereichert, während im Gestein selbst eine Auslaugung derselben Isotope erfolgt (V.V. CHERDYNCEV, 1971).

Die Modelle der Uran-Chemie sind noch nicht soweit ausgereift, um eine quantitative Anschätzung des Grundwasseralters zu erlauben. Die Bewegung des Grundwassers im Blumau Aquifer stimmt aber durchaus mit den Ergebnissen der Kohlenstoff-15-Isotope überein, und das Wasser des Tiefenaquifers von Leitersdorf muß als sehr alt eingestuft werden.

#### 6.5.3. Silicium-32

Erste Altersdatierungen mit Hilfe von Silicium-32 wurden an polaren Eisproben vorgenommen. Daraus konnte eine Halbwertszeit dieses Isotopes von  $295 \pm 25$  Jahren bestimmt werden. Wesentlich komplizierter als die Datierung von Eisproben ist die Altersbestimmung von Grundwässern, vor allem auch deshalb, weil sich in einem Aquifer Wasser verschiedenen Alters mischen und daher nur ein mittleres Alter angegeben werden kann.

Die Ergebnisse für den Blumau Aquifer sind aus diesem Grund auch ziemlich unbefriedigend. Als allgemeiner Schluß kann die bloße Präsenz von Silicium-32 im Grundwasser für eine rezente Komponente sprechen. Allerdings kann es zu Austauschreaktionen mit  $\text{SiO}_2$  im Boden kommen.

#### 6.5.4. Radium-266, Radon-222 und Helium-4

Radium-266 und sein Zerfallsprodukt Radon-222 stammen aus der Uran-Thorium-Zerfallsreihe:



Die Halbwertszeit kann mit 1620 Jahren bzw. 3,825 Tagen angegeben werden. Die Lösung beider Nuklide im Grundwasser entsteht vornehmlich an der Kontaktfläche zwischen Wasser und Gestein. Das Gleichgewicht an dieser Kontaktfläche wird durch die Zerfallsrate von  $^{226}\text{Ra}$  bestimmt und tritt nach 25 Tagen ein. Deshalb sollte die Entgasung zu diesem Zeitpunkt wiederholt werden, um das Verhältnis von  $^{226}\text{Ra}$  zu  $^{222}\text{Rn}$  festzustellen.

Die Atmosphäre enthält durchschnittlich 5,2 ppm Helium, das hauptsächlich aus radioaktivem  $^4\text{He}$  besteht. Es entsteht im Erdmantel und wandert von dort an die Kruste. Diffusionsprozesse sind meistens sehr gering, wodurch sich  $^4\text{He}$  in den Mineralen akkumulieren kann, ohne in die Poren des Aquifers zu gelangen.

Alle Analysen der nichtkonventionellen Umweltisotope lassen lediglich den Schluß zu, daß das Grundwasser des Leitersdorfer Horizontes (B 32) wesentlich älter sein muß als das gespannte Grundwasser von Blumau, ohne daß jedoch eine absolute Altersdatierung möglich ist.

## 7. FLIESSBEWEGUNG DES GESPANNTEN GRUNDWASSERS

Die Methoden zur Erfassung von Aquifereigenschaften gespannter Grundwässer müssen einer kritischen Beurteilung unterzogen werden, vor allem deshalb, weil sie durchwegs von verschiedenen Betrachtungsstandpunkten ausgehen. Eine solche Diskussion betrifft u.a. auch hydraulische Aspekte, die eine hydrologische Vorflutbeziehung miteinschließen. Objektiverweise müßten alle diesbezüglichen Überlegungen von der oberirdischen Vorflut ausgehen, denn nur sie allein repräsentiert die - meist nicht sichtlich erkennbare - natürliche Entwässerung artesischer Grundwassersysteme.

So können Aufschlußbohrungen in Tiefenaquifere, die lediglich der Grundwasserbeobachtung dienen, Zeugnis über eine im groben horizontale Bewegung des Grundwassers geben, die in der Nähe der Vorflut ("Discharge-Gebiet") von stärkeren Vertikalströmungen begleitet wird.

Während beim seichtliegenden Grundwasser der Wasserspiegel durch die unmittelbare Angrenzung des Grundwasserleiters zum Vorfluter mit dessen Oberfläche direkt kommuniziert, zirkulieren gespannte Grundwässer oft hunderte Meter in die Tiefe, ehe sie entlang von geologischen Schwächezonen zum Vorfluter hochströmen. Da die Vorflutfunktion für die artesischen Wässer im Steirischen Becken nur von den Flüssen in den einzelnen Tälern (u.a. auch Ilz-, Feistritz- und Safental) wahrgenommen werden kann, bedeutet dies gleichzeitig auch einen hydraulischen Zusammenhang verschieden tiefer Horizonte durch Migration von Grundwässern in weniger durchlässige Sedimente bis hinauf zum oberirdischen Vorfluter. Hinweise dafür ergaben Ausfließversuche an Testbohrungen in Grafendorf (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1973; H. ZOJER, 1977), und J.E. GOLDBRUNNER (1984) hat diese hydraulische Kommunikation durch Untersuchungen im oberösterreichischen Innviertel verifiziert.

Zum starken Sedimentationswechsel im Steirischen Becken, der eine klare vertikale Begrenzung von Aquiferen nahezu unmöglich macht und sich die Faziesverzahnung in einer nicht mehr überschaubaren Verschachtelung von Grundwasserhorizonten ausdrückt, kommt noch die schwer erfaßbare Komponente der zum Vorfluter aufsteigenden Tiefengrundwässer. Man kann grundsätzlich davon ausgehen, daß die Wasserwegigkeit in den Sedimenten der abströmenden (absteigenden) unterirdischen Wässer bedeutend größer ist als in den Bereichen der aufsteigenden. Auf dem Weg in die Tiefe wird der Druck in der Deckfläche des Grundwasserleiters immer größer, und bei der Aufwärtsbewegung durchströmen schließlich Wässer auch weniger durchlässige Schichten, die sich bei ursprünglich absteigender Wasserbewegung (geringes

Druckniveau über der Basisgrenze der Deckschichte) als eindeutige Wasserstauer erweisen würden.

Diesen allgemeinen Voraussetzungen der unterirdischen Fließbewegung (absinkendes Wasser in einfallenden Horizonten, aufsteigendes Wasser durch steile bis vertikale Migration) sollen nun zwei Beispiele angeschlossen werden, wo die Fließgeschwindigkeit des artesischen Wassers aufgrund hydraulischer Parameter berechnet wurde:

In der Versuchsbohrung Obgrün II (V 2) ergab eine  $v_f$ -Messung einen Wert von  $3 \cdot 10^{-2}$  m/d. Unter Berücksichtigung einer nutzbaren Porosität von etwa 10% läßt sich eine Abstandsgeschwindigkeit von 110 m/y errechnen. Dies bedeutet, daß das gespannte Grundwasser vom Infiltrationsgebiet im Nestelbachtal bis zur Testbohrung etwa 36 Jahre unterwegs sein müßte.

Beim Blumau Aquifer wurde auf einen  $k_f$ -Wert eines Pumpversuches in der Testbohrung Jobst zurückgegriffen (J. NOVAK, 1978), der  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s ergab. Berücksichtigt man Gefälle und nutzbare Porosität, ergibt sich eine Abstandsgeschwindigkeit von annähernd 24 m/y, was einer unterirdischen Verweildauer des gespannten Grundwassers von etwa 250 Jahren entsprechen würde.

Vergleicht man hiezu die Berechnungen nach dem absoluten  $^{14}\text{C}$ -Alter, ergeben sich erhebliche Unterschiede: für den Obgrün Aquifer wurde eine Abstandsgeschwindigkeit von 0,24 m/y, für den Blumau Horizont eine von 1,2 m/y errechnet (aus Tab. 8). Diese Diskrepanz ist allerdings nur eine vermeintliche, da die Fließbewegung des Grundwassers unterschiedlich betrachtet wird. Während die hydraulisch definierte von der Dynamik des Darcy'schen Gesetzes bestimmt wird, können die Umweltisotope als natürliche Markierungsstoffe ("Environmental Tracer") angesprochen werden, die in das Wassermolekül eingebaut sind und daher die Wasserbewegung direkt mitmachen.

Was die hydraulische Leitfähigkeit und deren Ableitung in die Abstandsgeschwindigkeit betrifft, so sind für die untersuchten Aquifere noch zwei Punkte anzuführen:

1. Die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes, ob er auf der Grundlage von Sedimentproben oder von Pumpversuchen gewonnen wird, unterliegt sehr den lokalen Verhältnissen.
2. Eine Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit aus  $k_f$ ,  $I$ ,  $v_f$  und  $P^*$  gibt im allgemeinen zu hohe Werte an, wohl auch, weil sie neben grundsätzlicher hydraulischer Gesetzmäßigkeiten auch einer empirischen Bewertung unterliegt. Da die Fließbewegung im Aquifer von der Menge und Geschwindigkeit des aufsteigenden gespannten Grundwassers durch minder wasserdurchlässige Schichten gesteuert wird, sind somit einer solchen Berechnung Grenzen gesetzt. Eine hohe Durchlässigkeit des Grundwasserkörpers täuscht daher eine größere Fließgeschwindigkeit nur vor, da die gering wasserdurchlässigen Schichten beim Aufsteigen erst überwunden werden müssen. Allenfalls kann die Geschwindigkeit durch das freie Ausfließen aus artesischen Bohrungen erhöht werden.

Es ist daher bei der Bestimmung der Fließgeschwindigkeit in artesischen Horizonten der unterirdischen Verweilzeit aus dem  $^{14}\text{C}$ -Alter eine erhöhte Bedeutung beizumessen. Voraussetzung dafür ist neben der Kenntnis des Infiltrationsgebietes die Ausschließung einer nennenswerten Beimischung älterer Grundwässer.

Auf die Bedeutung der natürlichen Entwässerung gespannter Grundwasserhorizonte zum Vorfluter und deren Auswirkung auf die Wasserbewegung im Aquifer selbst weisen auch E. MAZOR & L. KROITORU (1987) hin. Fließgeschwindigkeiten, berechnet nach Gefälle und Durchlässigkeit, stellen mögliche Höchstwerte dar, die jedoch einer Korrektur durch das begrenzte

Ausfließen unterliegen. Dadurch wird auch die Anreicherung des Aquifers (Grundwasserneubildung) gesteuert, sie hängt nicht von der Durchlässigkeit des Wasserkörpers ab, sondern von der durch den reduzierten Ausfluß bedingten realen Fließgeschwindigkeit. Die Infiltrationsbereiche bilden daher eigene hydrologische Systeme: In Großwilfersdorf (Blumau Aquifer) fließt das vom hier auskeilenden gespannten Horizont nicht aufnehmbare Wasser in den seichtliegenden Aquifer ab und im Nestelbachtal (Obgrün Aquifer) entspringen Überlaufquellen, die das überschüssige Wasser abführen.

Schließlich zeigt der Vergleich dieser beiden Untersuchungsmethoden auch einige wasserwirtschaftliche Aspekte auf. Eine große Diskrepanz der Berechnung von unterirdischer Verweildauer und Fließgeschwindigkeit birgt die Möglichkeit einer nennenswerten Wasserentnahme, weil dadurch nachgewiesen wird, daß eine hohe hydraulische Leitfähigkeit durch die Natur selbst nicht entsprechend genutzt wird. Liegen hingegen keine nennenswerten Unterschiede vor, ist entweder die Durchlässigkeit im Aquifer gering oder die natürliche Entwässerung aus dem Horizont ist nicht oder nur in einem geringen Maße eingeschränkt.

Legt man diese Erfahrung auf den Blumau Aquifer um, muß man drei Faktoren berücksichtigen:

- Die Durchlässigkeit ist sehr einheitlich. Während nahe dem Infiltrationsgebiet (Testbohrung Großwilfersdorf) noch Mittel- bis Grobkiese aufgeschlossen sind, ist die Sedimentation im Blumauer Raum wesentlich feiner.
- Das Angebot an Wasser für die Anreicherung des Horizontes ist außerordentlich groß, ja nahezu unbeschränkt (Feistritz, seichtliegendes Grundwasser im Feistritztal).
- Das in den Blumau Aquifer infiltrierende Wasser benötigt bereits 500 bis 1000 Jahre, um die nahegelegene Testbohrung Großwilfersdorf zu erreichen.

Diese Überlegungen führen zum Schluß, daß im Raum Blumau eine größere Wasserentnahme aus dem artesischen Horizont aufgrund der niedrigen hydraulischen Leitfähigkeit nicht möglich ist. Eine derartige Überlegung wäre hingegen am nördlichen Talrand bei Großwilfersdorf auch unter Bedacht-  
nahme einer qualitativen Sicherung gerechtfertigt.

LITERATUR

- ANDREWS, J.N., W. BALDERER, A.H. BATH, H.B. CLAUSEN, G.V. EVANS, T. FLORKOWSKI, J.E. GOLDBRUNNER, M. IVANOVICH, H. LOOSLI & H. ZOJER: Environmental isotope studies in two aquifer systems; a comparison of groundwater dating methods. Isotope Hydrology 1983, Wien 1984
- BRADLEY, E.: Persönliche Mitteilung, 1971.
- CHERDYNTSEV, V.V.: Uranium-234. Isreal Program for Scientific Translations, 234 S, Jerusalem 1971.
- DAVIS, G.H., G.L. MEYER & C.K. YEN: Isotope hydrology of the artesian aquifers of the Styrian Basin, Austria. Steir. Beitr. Hydrogeol., 20, Graz 1968.
- DEAK, J., M. STUTE, J. RUDOLPH & C. SONNTAG: Determination of the flow regime of Quaternary and Pliocene layers in the Great Hungarian Plain (Hungary) by D,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{14}\text{C}$  and noble gas measurements. IAEA-SM 299/39, Wien 1987 (im Druck)
- DÖRR, H., C. SONNTAG & W. REGENBERG: A field study on the initial  $^{14}\text{C}$  content as a limited factor in  $^{14}\text{C}$  groundwater dating. IAEA-SM 299/138, Wien 1987 (im Druck).
- FERRONSKY, V.I., L.S. VLASOVA, A.D. ESIKOV, V.A. POLYAKOV, Y.B. SELETSKY, Y.K. PUNNING & R.A. VAJKMYAEH: Relationships between climatic changes and variations in isotopic composition of groundwater, precipitation and organic soil matter in the Quaternary period. Proc. Palaeoclimates and Palaeowaters: a collection of environmental isotope studies, IAEA, Wien 1983
- FINK, J.: Leitlinien der quartärgeologischen und pedologischen Entwicklung des südöstlichen Alpenrandes. Mitt. österr. bodenkundl. Ges., Wien 1959.



- FLÜGEL, H. & H. HERITSCH: Das Steirische Tertiär-Becken. Gebr. Bornträger, 2. Aufl., Berlin-Stuttgart 1968.
- FRENZEL, B.: Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters. Braunschweig 1967.
- GOLDBRUNNER, J.E.: Zur Hydrogeologie des oberösterreichischen Molassebeckens. Steir. Beitr. Hydrogeol., 36, Graz 1984
- GOLDBRUNNER, J.E. & J.G. ZÖTL: Bericht über die Arbeiten vor und während der Abteufung der Aufschlußbohrung Fürstenfeld Thermal 1 und Empfehlungen. Unveröff. Bericht, FGJ Graz, Graz 1985.
- JANSCHKEK, H.: Erfahrungen mit geophysikalischen Bohrlochmessungen in Untersuchungsbohrungen nach artesischem Wasser in der Oststeiermark. Unveröff. Bericht, Ferlach 1982.
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im Steirischen Becken. Mitt. Geol. Ges., 57/2, Wien 1964.
- KOLLMANN, K.: Die österreichischen Erdöl- und Erdgasprovinzen: Steiermark und Südburgenland. In: Erdöl und Erdgas in Österreich. Naturhist. Museum Wien, Wien 1980
- MAZOR, E. & L. KROITORU: Pheatic-confined discontinuities and restriced flow in confined groundwater systems. IAEA-SM 299/80, Wien 1987 (im Druck).
- MOSER, H., W. STICHLER & J. ZÖTL: Altersgliederung von tiefliegenden artesischen Wässern durch Messung des Deuteriumgehaltes. Naturwissenschaften, 59, Hannover 1972.
- MOSER, H. & W. RAUERT: Isotopenmethoden in der Hydrologie. Lehrb. Hydrogeol., 8, Gebrüder Bornträger, Berlin-Stuttgart 1980.

- NOVAK, J.: Pumpversuch Versuchsbohrung Jobst. Unveröff. Gutachten, Graz 1978.
- POLESNY, H.: Zur Geologie von Bohrungen nach artesischem Grundwasser in der Oststeiermark. Ber. Wasserwirtsch. Rahmenpl., 33, Graz 1975.
- PRZEWLOCKI, K.: Hydrologic interpretation of environmental isotope data in the Eastern Styrian Basin. Steir. Beitr. Hydrogeol., 27, Graz 1975.
- QUIJANO, L.: Großwilfersdorf projekt, investigation of an artesian aquifer by environmental isotopes. IAEA report Wien 1977.
- SIEGENTHALER, U. & H.A. MATTER: Dependence of  $d^{18}O$  und  $dD$  in precipitation on climate. Proc. Palaeoclimates and Palaeowaters: a collection of environmental isotope studies, IAEA, Wien 1983.
- SKALA, W.: Lithologische Untersuchungen an den Sanden der Kirchberger-Karnerberger Zwischenserie (Pannon C, Steirisches Becken). Mitt. Geol. Ges., 60, Wien 1967.
- WINKLER-HERMADEN, A. & W. RITTLER: Erhebungen über artesische Wasserbohrungen im Steirischen Becken unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung für die Tertiärgeologie. Geol. u. Bauwesen, 17, Wien 1949.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Ergebnisse und Probleme der quartären Entwicklungsgeschichte am östlichen Alpensaum außerhalb der Vereisungsgebiete. Sitzb. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Denkschr., 110, Wien 1955.
- ZETINIGG, H.: Neue Bohrungen nach artesischem Grundwasser in der Oststeiermark: Hydrogeologische Untersuchungen an Bohrungen und Brunnen in der Oststeiermark. Ber. Wasserwirtsch. Rahmenpl., 33, Graz 1975.

- ZETINIGG, H.: Die artesischen Brunnen im steirischen Becken. Mitt. Abt. Geol., Paläont., Bergbau, Landesmuseum Joanneum, Graz 1982.
- ZOJER, H.: Untersuchungen zur Frage des Wasserverlustes an der mittleren und unteren Feistritz. Steir. Beitr. Hydrogeol., 24, Graz 1972.
- ZOJER, H.: Ergebnisbericht über die Untersuchung artesischer Wasser im Steirischen Becken. Unveröff. Bericht, Graz 1977.
- ZOJER, H.: Untersuchungen artesischer Wasser im zentralen Steirischen Becken (Großwilfersdorf - Blumau). Festschrift. J.G. Zötl, Forschungszentrum Graz, Graz 1981.
- ZOJER, H. & J. ZÖTL: Untersuchungen an den artesischen Testbohrungen in Grafendorf - Seibersdorf. Unveröff. Bericht, Graz 1973.
- ZÖTL, J.: Isotopenmessungen in der Hydrographie als Hilfsmittel zur Untersuchung der Klimaschwankungen in der Spät- und Nacheiszeit. Mitt. naturwiss. Verein Stmk., 101, Graz 1971.
- Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal: Bericht über die Messung der Filtergeschwindigkeit und Fließrichtung der artesischen Bohrung Obgrün bei Ilz. Unveröff. Bericht, Wien 1970.
- Institut für Radiohydrometrie München: Bericht über die Messung der Filtergeschwindigkeit und Fließrichtung von gespannten Grundwässern im Hartberg - Grafendorfer Becken und im Feistritztal in der Oststeiermark. Unveröff. Bericht, München 1972.



DER SCHUTZ ARTESISCHER GRUNDWÄSSER

AM BEISPIEL DES STEIRISCHEN BECKENS

von

H. Zetinigg



Inhalt

- 1) Einleitung
- 2) Instrumente des Grundwasserschutzes
- 3) Schutzmaßnahmen für artesische Brunnen im Steirischen Becken
- 4) Hydrogeologische Betrachtungen über den Schutz artesischen Grundwassers
  - 4.1) Der Schutz der Wasserqualität
  - 4.2) Der Schutz der Ergiebigkeit
- 5) Die hydrogeologischen Verhältnisse bei den artesischen Grundwässern im Steirischen Becken
  - 5.1) Die Einzugsgebiete der artesischen Grundwässer
  - 5.2) Die Fließbewegungen der artesischen Grundwässer
    - 5.2.1) Der Aquifer von Großsteinbach
    - 5.2.2) Der Aquifer von Blumau
    - 5.2.3) Die Ergebnisse von Filtergeschwindigkeitsmessungen
- 6) Die besondere Bedeutung artesischen Grundwassers
- 7) Vorschläge zum Schutz artesischen Grundwassers
- 8) Literaturangaben





## 1) EINLEITUNG

In den letzten Jahren haben die Schwierigkeiten mit der Qualität des oberflächennahen, ungespannten Grundwassers in unseren Tallandschaften, das für die Trinkwasserversorgung von ausschlaggebender Bedeutung ist, in einem erschreckenden Maße zugenommen. Die Vielfalt der Kontaminationsmöglichkeiten läßt es nicht mehr zu, nur auf die Schutzfunktion von Deckschichten und die Filterwirkung des Aquifers zu vertrauen. Ist Grundwasser erst verunreinigt, so ist seine Sanierung oft gar nicht oder nur in langen Zeiträumen möglich. Grundwasserschäden sind im allgemeinen Langzeitschäden, worin ein wesentlicher Unterschied zum Oberflächenwasser liegt. In zahlreichen Abhandlungen wurden diese Themen behandelt und nach Sanierungs- und Lösungsmöglichkeiten für diese virulent gewordenen Probleme gesucht. Besondere Sorge bereiten hierbei großflächige Kontaminationen, wie z.B. durch Stickstoffeinbringungen.

Auf Grund dieser Entwicklung erlangen gut geschützte und noch einwandfreie Grundwässer für die Sicherung der Trinkwasserversorgung eine immer größere Bedeutung. Über ein Ausweichen mit der Wassergewinnung vor qualitativen Problemen mit dem oberflächennahen, ungespannten Grundwasser in die Tiefe berichtet P. UDLUFT (1977) und meint, daß sich die Hydrogeologie in Zukunft stärker als bisher mit den hydraulischen Vorgängen, der Wasserbilanz und chemischen Umsetzungen im tiefliegenden Grundwasser und seinem Schutz wird beschäftigen müssen. Hier muß allerdings darauf aufmerksam gemacht werden, daß durch ein solches Ausweichen mit der Wassergewinnung von der Bekämpfung der Ursachen der Grundwasserverunreinigung abgelenkt bzw. diese unterlassen werden könnte. Einer solchen Vorgangsweise steht aber vor allem die Tatsache entgegen, daß bei weitem nicht überall wo oberflächennahes Grundwasser für die Wasserversorgung gewonnen wird, auch tiefliegendes Grundwasser in nennenswerter Menge vorhanden und weiters erschrotbar ist. Darüber-

hinaus sind aus tiefliegenden Grundwasserleitern im allgemeinen schon alleine auf Grund des geringeren effektiven Porenvolumens nur geringe Wassermengen zu erwarten.

Solche tiefe Grundwässer sind nun artesische und gespannte Grundwässer, die z.B. im Steirischen Becken, im Wiener Becken oder in der oberösterreichischen Molassezone vorkommen. Um nun bei der Nutzung dieser gespannten Grundwässer auch in Zukunft mit guter und gleichbleibender Qualität rechnen zu können, muß bei Zeiten überlegt werden, ob für die Erhaltung dieser Qualität besondere Schutzmaßnahmen notwendig sind. Es wird daher aus hydrogeologischer Sicht die Besonderheit dieser gespannten und artesischen Grundwässer am Beispiel des Steirischen Beckens erörtert und sodann die Frage behandelt, ob besondere Maßnahmen zur Erhaltung ihrer Qualität aus derzeitiger Sicht nötig sind. Die Notwendigkeit des Schutzes der Quantität, auf die auch Bezug genommen wird, steht auf Grund der bisherigen Erfahrungen bei der Nutzung dieser Wässer außer Zweifel.

Zur Klarstellung der Begriffe "gespanntes" und "artesisches" Grundwasser soll hier noch auf die ÖNORM B 2400 (Hydrologie) hingewiesen werden, wonach als artesisches Wasser nur der Sonderfall des gespannten Grundwassers mit positivem Druckniveau bezeichnet werden darf. Dies bedeutet, daß nach dieser Norm im Gegensatz zu oft weniger strikten Auffassungen in der hydrogeologischen Fachliteratur nur gespanntes Grundwasser, welches über Terrain aufsteigt, als artesisch bezeichnet werden darf. Auf die Schwierigkeiten, die sich aus dieser engen Auslegung der Bezeichnung "artesisch" insbesondere im Steirischen Becken ergeben, weist H.ZETINIGG (1983) hin. Da das positive Druckniveau in Zusammenhang mit den natürlichen oder durch Entnahme bedingten Schwankungen des Druckwasserspiegels orts- und zeitbezogen ist, ergibt sich manchmal eine unbefriedigende Charakterisierung ausgedehnter Druckwassersysteme. Diese Charakterisierung wird

durch diese Definition auch noch abhängig vom Standort der jeweiligen Erschließung (Höhenlage), was der Gesamtbetrachtung eines Druckwassersystems nicht gerecht wird.

Bei diesen gespannten und artesischen Grundwässern ist weiters die Frage zu stellen, ob sie im Sinne der heutigen Auffassung auch als Tiefengrundwässer zu bezeichnen sind. Hierzu soll bemerkt werden, daß J. ZÖTL bereits 1978 die artesischen Wässer des Steirischen Beckens, vor allem auf Grund der geringen Tritiumgehalte, bzw. des oftmals festgestellten Fehlens von Tritium, sowie weiters der Überlagerung der Grundwasserleiter durch dichte Deckschichten und der langen Verweilzeiten im Untergrund wegen als Tiefengrundwässer bezeichnet hat. Diese Ansicht hat nun J. ZÖTL (1983) näher begründet und als Leiter der Arbeitsgruppe beim ÖWWV, die das Regelblatt 202, "Tiefengrundwässer und Trinkwasserversorgung", erstellt hat, für eine unseren hydrogeologischen Verhältnissen Rechnung tragende Definition gesorgt.

Nach dieser Definition ist Tiefengrundwasser Grundwasser in den tieferen Schichten der Erdrinde, das eine weiträumige Überlagerung durch (schwer- oder undurchlässige) Deckschichten, eine lange Aufenthaltsdauer im Untergrund und meist besondere chemische und physikalische Eigenschaften aufweist. Zu diesen Eigenschaften gehören nun meist ein gespannter Grundwasserspiegel und das Fehlen von freiem gelösten Sauerstoff. Die Wassertemperatur liegt deutlich über dem Jahresmittel der Lufttemperatur und ist auf Grund der Tiefenlage bereits durch die geothermische Tiefenstufe beeinflusst. Weiters ist Tiefengrundwasser, wie bereits erwähnt, ganz oder fast ganz tritiumfrei. Dies bedeutet auf Grund der Halbwertszeit ( $T = 12,3$  Jahre) dieser radioaktiven Isotope des Wasserstoffs, daß dieses Wasser älter als 50 Jahre ist. Hiemit ist bereits eine nähere Bestimmung des zeitlichen Definitionskriteriums gegeben. Nach diesen Kri-

terien können die gespannten Grundwässer in den tertiären Schichtfolgen entlang des Alpenrandes weitgehendst als Tiefengrundwässer bezeichnet werden.

Zu den Definitionskriterien, daß Tiefengrundwasser in den tieferen Schichten der Erdrinde gelagert ist und meist einen gespannten Grundwasserspiegel besitzt, läßt sich nach Ausführungen von P. UDLUFT (1979) über die Grundwässer Frankens noch ein wichtiger, aus der Potentialtheorie über die Strömung des Grundwassers resultierender Hinweis geben. Nach P. UDLUFT sind die seichten Grundwässer direkt vorflutbezogen, während die tiefen Grundwässer nur indirekt vorflutbezogen sind. Dies bedeutet, daß die direkt vorflutbezogenen Grundwässer oberhalb des Vorflutniveaus gelagert bzw. in Bewegung sind, während die tiefen Grundwässer unterhalb des Vorflutniveaus liegen und erst von dort aufsteigen müssen. Es darf dabei nicht vergessen werden, daß die Wasserbewegung über dem Vorflutniveau so langsam sein kann, daß die lange Aufenthaltszeit im Untergrund auch für diese Wässer, einschließlich daraus resultierender chemischer und physikalischer Eigenschaften, zutrifft. Diesem Kriterium kommt daher die gleiche Bedeutung zu wie der Feststellung eines gespannten Grundwasserspiegels bei Tiefengrundwasser. Zur Tiefenlage selbst ist noch zu vermerken, daß bei der Untersuchung derartiger Wässer in Abhängigkeit von Lage und Ausdehnung des Aquifers und den Strömungsverhältnissen auch seichte Positionen festgestellt wurden.

Aus diesen Darlegungen ist zu ersehen, daß eine scharfe auf die strikte Erfüllung weniger Kriterien eingeschränkte Definition nicht gegeben werden kann, sondern immer ganze Grundwassersysteme nach mehreren Kriterien beurteilt werden müssen. Dies ist auch verständlich, wenn man die Vielfalt des geologischen Baues der Erdrinde und die unterirdische Wasserführung als einen in der Zeit ablaufenden Strömungs-

prozeß im Auge behält. Nicht zuletzt ist es nach K.P. SEILER (1983) auch eine Frage des Standortes des Untersuchers. Dieser kann bei der Beurteilung vorwiegend von chemischen, physikalischen, hydraulischen oder genetischen Gesichtspunkten ausgehen.

## 2) INSTRUMENTE DES GRUNDWASSERSCHUTZES

In Österreich ist durch das Wasserrechtsgesetz 1959 (§§ 34 und 35) der besondere Schutz des Wassers, das zur Trinkwasserversorgung herangezogen wird, geregelt. Hiedurch können mehr oder weniger große Teile, wenn notwendig sogar gesamte Einzugsgebiete von Wassergewinnungsanlagen, durch Schutz- und Schongebiete erfaßt werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß sich dieser Schutz nicht nur auf die Erhaltung der Qualität sondern auch auf die Erhaltung der Quantität der genutzten Wasservorkommen bezieht.

Für die Abgrenzung und Einrichtung von Schutzgebieten gemäß § 34, Abs.1, WRG 1959, findet in Österreich dzt. die Richtlinie W 101 des Deutschen Vereines von Gas- und Wasserfachmänner e.V. (DVGW) für Trinkwasserschutzgebiete I. Teil, Schutzgebiet für Grundwasser (1975), Verwendung. Wenn auch bei uns die Bezeichnung der Schutzgebiete mit dieser Richtlinie nicht immer konform geht, so stimmt zumindest der Inhalt bzw. die Zielsetzung überein. Die Zone I (Fassungsbereich), die zum Schutz der Fassungsanlage dient, wird in Österreich vielfach als "engeres Schutzgebiet" bezeichnet. Die Zone II (engere Schutzzone), für deren Abgrenzung als wesentlichstes Kriterium die 50-Tagegrenze gilt, wird in Österreich oft als "weiteres Schutzgebiet" bezeichnet. Durch Untergliederung des weiteren Schutzgebietes in Zonen nach der Zahl und Intensität der Nutzungsbeschränkungen kann dieses weitere Schutzgebiet auf die Zone III (weitere Schutzzone) der DVGW-Richtlinie übergreifen bzw. ganze Einzugsgebiete umfassen. Ansonsten steht in Österreich zur Erfassung ganzer Einzugsbereiche großer Wassergewinnungsanlagen das Rechtsinstrument der Schongebietsverordnung zur Verfügung (§ 34, Abs.2-5, WRG 1959), das sich aber ganz wesentlich von Schutzgebieten unterscheidet. In solchen Schongebieten wird anstelle konkreter Verbote bzw. Nutzungsbeschränkungen nur die zusätzlich wasserrechtliche Anzeige-

und Bewilligungspflicht für taxativ angeführte Bodennutzungen und sonstige Maßnahmen festgelegt. Um in Österreich eine einheitliche Vorgangsweise bei der Festlegung von Schongebieten zu ermöglichen und vor allem ein Hilfsmittel für die Ausarbeitung von Schongebietsverordnungen zu bieten, wurde vom Österreichischen Wasserwirtschaftsverband (ÖWWV) im Jahre 1984 der Arbeitsbehelf Nr. 2 "Grundwasser-Schongebiete" herausgegeben. In diesem Arbeitsbehelf werden Hinweise zur Abgrenzung derartiger Schongebiete unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse in Österreich gegeben. Weiters wird ein Katalog für die im Einzelfall anzustellenden Überlegungen und Interessenabwägungen sowie zur taxativen Anordnung von wasserrechtlichen Anzeige- und Bewilligungspflichten geboten. Bei Schongebieten steht der Grundgedanke im Vordergrund, gesamte hydrologische Einzugsgebiete von Wassergewinnungsanlagen zu erfassen. Nach Abs.IV.4. dieses Arbeitsbehelfes soll bei gespanntem Grundwasser das gesamte Druckgebiet eines Vorkommens - also der Bereich, in dem sich der Aquifer unter der dichten Deckschichte ausbreitet und durch Bohrungen artesisches oder gespanntes Grundwasser erschlossen werden kann - erfaßt werden. Nach Möglichkeit bzw. Stand der Kenntnisse sollte aber auch das Infiltrationsgebiet durch das Schongebiet erfaßt werden. Alleine aus dieser Formulierung ist zu erkennen, daß auch in diesem Arbeitsbehelf für gespanntes Grundwasser noch das Ziel des quantitativen Schutzes im Vordergrund steht. Besonders wird hier auf die Möglichkeit des Abfließens artesischen Wassers in höhere, ungespannte Grundwasserleiter durch technisch nicht entsprechend ausgeführte Bohrungen aufmerksam gemacht, was zu einer nicht kontrollierbaren, übermäßigen Beanspruchung gespannter Grundwässer führen kann.

Schon aus der Bezeichnung der für die Behandlung von Schutzgebieten maßgeblichen DVGW-Richtlinie 101, insbesondere aber aus ihrem Inhalt ist zu entnehmen, daß sie auf Grund

der Vorgangsweise bei der Festlegung der 50-Tagegrenze (Verweildauer) speziell auf Porengrundwasser ausgerichtet ist. Ihre Anwendung auf Kluftgrundwasser ist bereits mit Schwierigkeiten verbunden, die speziellen Verhältnisse bei Karstgrundwasser sind aus hydrogeologischer Sicht nicht berücksichtigt, obwohl Quellen direkt angesprochen werden, ohne jedoch ihre Art in geologischer Hinsicht näher zu definieren.

In Punkt 4.4 dieser Richtlinie wird der Schutz der unmittelbaren Umgebung einer Fassungsanlage als besonders wichtig bezeichnet, woraus der Schluß zu ziehen ist, daß ein derartiger Schutz wohl für jede Fassungsanlage vorgesehen werden muß. Hiezu ist noch zu vermerken, daß durch den Schutz der Fassungsanlage die Sicherheit und der Bestand des Fassungsbauwerkes selbst gesichert wird. Aus diesem Grund ist auch bei artesischem oder gespanntem Grundwasser das Fassungsbauwerk selbst zu schützen, wie es in der Steiermark bei kommunalen und gewerblichen sowie industriellen artesischen Brunnen durchaus üblich ist.

In Punkt 5.2.2. der cit. DVGW-Richtlinie ist nun ausdrücklich festgehalten, daß bei Vorhandensein einer dichten Deckschichte über dem Grundwasserleiter, also bei den für artesischen Brunnen typischen Verhältnissen die Zone II entfallen kann. Dies gilt auch für Wasservorkommen, die bis zur 50-Tagegrenze von undurchlässigen Schichten überdeckt sind. Diese Festlegung ist durchaus verständlich, wenn man sich die Motivation für die Abgrenzung (Pkt. 5.2) vor Augen hält. Danach soll die Zone II den Schutz vor Verunreinigungen und sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten, die von verschiedenen menschlichen Tätigkeiten und Einrichtungen ausgehen und wegen ihrer Nähe zur Fassungsanlage besonders gefährdend sind. Offen bleibt hier jedoch die Frage nach einem wirksamen Schutz des Alimentationsgebietes (Nährgebiet oder Gebiet der Grundwasserneubildung) eines



derartigen gespannten Grundwasservorkommens, wenn dieses nicht bekannt ist und daher nicht ausgewiesen werden kann. Nach der Art der Abgrenzung (50-Tagegrenze der Verweildauer des Wassers im Untergrund) ist Zone II und damit unser weiteres Schutzgebiet vor allem auf bakteriologische Verunreinigungen bezogen. Im Hinblick auf die lange Verweildauer der artesischen Grundwässer im Untergrund, die durch eine große Zahl von Tritium- und  $^{14}\text{C}$  Untersuchungen erwiesen ist, kann diese Zone tatsächlich ohne weiteres entfallen. Dies umso mehr, als durch die dichte Deckschichte auch ein Schutz vor weitreichenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder schwer abbaubaren chemischen und radioaktiven Verunreinigungen, der nach der cit. Richtlinie durch die Zone III erreicht werden soll, gewährleistet ist. So macht es die dzt. fehlende Kenntnis der Alimentationsgebiete dieser artesischen Wasservorkommen unmöglich, diese im Sinne der § 34 und § 35, WRG 1959, in ihrer Qualität besonders zu schützen. Der Verzicht auf einen derartigen besonderen Schutz ist bisher leicht gefallen, da die gute Qualität auch in bakteriologischer Hinsicht das Wissen von den mächtigen und ausgedehnten schützenden Deckschichten und nicht zuletzt die bisherigen Altersangaben über diese Wässer in jeder Hinsicht beruhigend wirkten. Bei diesen Wässern ist zwar auf Grund des letzten Faktums ein Zeitpolster für die Einleitung gezielter Schutzmaßnahmen gegeben, der jedoch weder für jedes genutzte Druckwassersystem bekannt ist noch gleich lang sein kann. Hier wäre auch ins Treffen zu führen, daß die Intensivierung der allgemeinen Maßnahmen zur Reinhaltung unserer Gewässer, die sowohl Grund- als auch Oberflächenwässer betreffen, als auch die umfassenden Bestrebungen zum Schutze der Umwelt, sozusagen automatisch den bisher unbekanntem Alimentationsgebieten dieser Druckwassersysteme zugute kommt. Trotzdem scheint es an der Zeit die Frage zu stellen, ob besondere Maßnahmen zum Schutze der Qualität von gespannten oder artesischen Wässern in ihren Einzugsgebieten notwendig sind. Hierzu wäre weiters zu

prüfen, ob die Einrichtung von Schutzgebieten als Verbotszonen zur Abwehr akuter Gefahren für diese Alimentationsgebiete notwendig ist, oder ob mit Schongebieten, die sich nur gegen künftige Maßnahmen richten, die auf Beschaffenheit und Ergiebigkeit derartiger Wasservorkommen einzuwirken vermögen, das Auslangen gefunden werden könnte.

### 3. SCHUTZMASSNAHMEN FÜR ARTESISCHE BRUNNEN IM STEIRISCHEN BECKEN

Bevor nun auf zuvor aufgeworfene Fragen näher eingegangen wird, soll kurz der dztg. Stand der Schutzmaßnahmen für artesische Brunnen im Steirischen Becken aufgezeigt werden. Zur Zeit bestehen tatsächlich für alle kommunalen und auch größeren und wichtigeren artesischen Brunnen von Gewerbe- und Industriebetrieben engere Schutzgebiete. Diese Schutzgebiete umgeben die Brunnen, die meist mit Vorschächten und Brunnenhäusern ausgestattet und gesichert sind, allseitig, allerdings nicht mit gleichmäßigen Abständen zu ihren Grenzen, ohne daß diese Abstände auf die jeweilige Strömungsrichtung des Grundwassers Bezug zu nehmen brauchen. Angaben über Strömungsrichtungen sind bisher nur in wenigen Fällen möglich. Diese Brunnenschutzgebiete sind durchwegs mit Zäunen umgeben und es gelten innerhalb ihres Bereiches die gleichen Verbote wie in den engeren Schutzgebieten für ungespanntes Grundwasser und für Quellen. Es sind dies vor allem das Verbot der landwirtschaftlichen Nutzung, jeder Grabung, der Errichtung von Bauwerken aller Art sowie der Verwendung und Lagerung wassergefährdender Stoffe. Wenn auch die meist einige Zehnermeter mächtigen, dichten Deckschichten diese Schutzbestrebungen für das gespannte Grundwasser im Grundwasserleiter selbst ohne Bedeutung sind, so sorgen sie doch für den sicheren Bestand des Brunnenbauwerkes und sind daher als unbedingt notwendig zu bezeichnen. Aber nicht diese Funktion alleine ist von Bedeutung. Hier

muß noch berücksichtigt werden, daß Filterrohrbrunnen - und um solche handelt es sich hier ausschließlich - ja die schützenden bzw. dichten Deckschichten perforieren. Das Eindringen von Verunreinigungen, die von der Erdoberfläche oder aus dem oberflächennahen Grund- und Sickerwasser stammen, ist daher im Bereich zwischen Bohrlochwand und Verrohrung möglich, solange dieser nicht dicht verschlossen ist. Hiezu kommt, daß der gespannte oder artesische Grundwasserspiegel bei größeren Fördermengen oft um Zehnermeter abgesenkt wird. Wenn auch die Brunnen zementierte Mantelrohre bzw. Schutz- oder Sperrohre, die zumindest einige Meter in die erste dichte Deckschichte reichen, besitzen, so sind doch technische Mängel bei der Ausführung derartiger Filterrohrbrunnen und ihrer Brunnenköpfe nicht auszuschließen. Besonders anfällig für technische Mängel in Form von Undichtheiten sind gerade Vorschächte, Tiefbehälter und komplizierte Verrohrungen (z.B. teleskopierende Verrohrungen). Auch Korrosions- und Alterserscheinungen an Verrohrungen - die nicht immer rechtzeitig bemerkt werden - dürfen nicht außer Acht gelassen werden. Diese kurzen Hinweise genügen aber, um zu zeigen, daß engere Brunnenschutzgebiete zum Schutz der Brunnenbauwerke selbst und ihrer unmittelbaren Umgebung auch für artesische Brunnen notwendig sind. Wie bereits erwähnt sind weitere Schutzgebiete im Sinne der DVGW-Richtlinie weder von ihren Abgrenzungskriterien her zielführend noch von ihrer hauptsächlichen Zielsetzung her im unmittelbaren Anschluß an die engeren Schutzgebiete notwendig. Ihre Einrichtung erfolgte daher nur in wenigen Fällen wie z.B. für einen kommunalen Brunnen der Stadtgemeinde Gleisdorf. Die Auswirkungen waren wie beabsichtigt nur quantitativer Art, da in diesem weiteren Schutzgebiet die vorhandenen artesischen Hausbrunnen allmählich stillgelegt wurden. Die Bemühungen, die Einzugs- bzw. Alimentsgebiete der einzelnen artesischen Horizonte im Steirischen Becken zu finden, stehen noch immer am Anfang.

Inzwischen hat sich jedoch die Frage des quantitativen Schutzes immer dringender gestellt, so daß in zwei Fällen versucht wird, mit dem Rechtsinstrument der Schongebietsverordnung diesen Schutz wirkungsvoller zu gestalten. Dieser Schutz des jeweiligen artesischen Wasservorkommens bezieht sich hier nicht auf das Alimentationsgebiet, das ja durch einen freien Grundwasserspiegel gekennzeichnet ist, sondern auf das Druckgebiet. Es ist dies, wie bereits erwähnt, jenes Gebiet, in dem der Aquifer unter dichten Deckschichten liegt, ein gespannter Grundwasserspiegel gegeben ist und das Wasser durch Bohrung entweder mit Eigendruck oder Pumpenförderung gewonnen werden kann. Bei uns sind es daher im wesentlichen die Täler im Bereich des Steirischen Tertiärbeckens. Daher zielen die beiden bestehenden Schongebietsverordnungen für artesische Brunnen und zwar für die Wasserversorgung der Stadt Feldbach (LGB1. Nr. 131/1968) und der Stadt Fehring (LGB1. Nr. 27/1978) speziell darauf ab, den Talbereich um die kommunalen artesischen Brunnen vor der weiteren Erschließung artesischen Wassers zu bewahren und so das Druckniveau und vor allem die Ergiebigkeitsverhältnisse dieser genutzten artesischen Horizonte zu erhalten. Darüberhinaus sind in diesen beiden Verordnungen über die Statuierung der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht auch Maßnahmen erfaßt, die auf die Qualität der dort vorkommenden oberflächennahen ungespannten Grundwässer einzuwirken vermögen.

Diese letztere Zielsetzung wurde in diese beiden Verordnungen wohl auch übernommen, um eine möglichst einheitliche behördliche Vorgangsweise im Vollzug derartiger Verordnungen zu ermöglichen. Die weitgehende Übereinstimmung der taxativ aufgeführten Verpflichtungen zur Einholung wasserrechtlicher Bewilligungen mit den damals bereits erlassenen Schongebietsverordnungen, die nur ungespannte Grundwässer und Karstwässer erfassen, wurde anscheinend grundsätzlich angestrebt.

Die hydrogeologischen Überlegungen, die zur Abgrenzung und Einrichtung dieser beiden Schongebiete führten, sind von H. ZETINIGG (1977) näher dargestellt. Es soll hier nur soviel dazu vermerkt werden, daß neben der besseren Steuerung gezielter Erschließungen artesischen Wassers in diesen Schongebieten, die ja an und für sich schon auf Grund der Bewilligungspflicht für artesische Brunnen nach § 10, Abs.3, WRG 1959, gewährleistet ist, vor allem die wesentlichsten bzw. den Brunnen zunächstgelegenen Teile der Druckgebiete abgegrenzt und ausgewiesen sind. Weiters ist durch diese Verordnungen das rechtliche Interesse der Nutzungsberechtigten an der Erhaltung von Qualität und Quantität der von ihnen genutzten artesischen Wasser festgelegt. Durch die Ladung zu allen sich aus diesen Verordnungen ergebenden Wasserrechtsverfahren können die durch die Verordnung Begünstigten über für sie relevante Vorgänge im Druckgebiet ihrer Wasservorkommen informiert werden. Auf Grund solcher Informationen haben sie, wenn nötig, die Möglichkeit, selbst Schutz- oder Abwehrmaßnahmen zu ergreifen.

Nicht zuletzt werden durch diese Verordnungen auch alle Bohrungen und Grabungen über 15 m Tiefe der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht unterworfen, die sonst nur anderen behördlichen Verfahren unterliegen (wie z.B. bergbehördlichen oder gewerbebehördlichen). Es werden somit auch Bohrungen erfaßt, deren Zielsetzung nicht die Erschließung oder dauernde Gewinnung artesischen Wassers oder Grundwasser im allgemeinen, sondern z.B. die Untersuchung und Erschließung von Kohle, Kohlenwasserstoffen oder einfach nur die Baugrunduntersuchung ist. Die Erfassung dieser Bohrungen wird aber besonders angestrebt, da sie in diesem Gebiet sowohl artesische Horizonte anritzen als auch durchhörtern können und daher ihr dichter Verschluß gewährleistet sein muß. Da bei derartigen Bohrungen das artesische Wasser durchaus unerwünscht ist, wird im vielfach nicht die notwendige Aufmerksamkeit und Sorgfalt zu Teile. Diese soll

nun durch die wasserrechtliche Behandlung erreicht werden. Auf den unzulänglichen Verschuß von Bohrungen im Zuge der Erdölprospektion wurde von H. ZETINIGG mehrfach hingewiesen. Unnötige Wasserverschwendung wurde bei Bohrungen aus der Zeit von 1940 - 1945 jahrzehntelang hingenommen und z.T. erst in den letzten Jahren abgestellt. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist jedenfalls ein dichter Verschuß derartiger Bohrlöcher von vornherein sicherzustellen und auf diesem Wege - also über die wasserrechtliche Bewilligungspflicht - wohl am sichersten erreichbar. Jedenfalls sollte durch diese beiden Schongebietsverordnungen eine weitere Handhabe zur Unterbindung der Herstellung weiterer artesischen Hausbrunnen geschaffen und weiters ein Mittel in die Hand gegeben werden, mit dessen Hilfe der dichte Verschuß von Bohrungen aller Art erreicht werden kann.

Nach den vielen, vor allem von geologischer Seite stammenden Hinweisen auf die Wasserverschwendung, hier sei nur auf W. BRANDL (1950 und 1954), A. HAUSER und F. HANFSTINGEL (1953) sowie auf W. BRANDL und A. HAUSER (1950 und 1954) verwiesen, führte vor allem die Arbeit von F. RONNER und J. SCHMIED (1968) im Bezirk Fürstfeld dieses Faktum drastisch vor Augen. Von 287 diesbezüglich untersuchten Brunnen floß damals 95 % der Schüttung ungenützt ab. Hiezu wäre aber noch festzustellen, daß unabhängig von der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht nach § 10, Abs.3, WRG 1959, für artesische Hausbrunnen und den weiteren Festlegungen in den Schongebietsverordnungen allein schon die Schaffung eines kommunalen Wasserversorgungsnetzes der weiteren Ausbreitung der Einzelversorgung entgegenwirkt. Neben dem, nach dem Wasserleitungsgesetz festgelegten Anschlußbereich, bietet oft die darüberhinausgehende Anschlußmöglichkeit einen Weg, auf eigene, teure Wassererschließungen verzichten zu können. Tatsächlich treffen bei den zuständigen Wasserrechtsbehörden heute auch keine Ansuchen um die Bewilligung artesischer Hausbrunnen für Gebiete, die von kommunalen

Versorgungsnetzen erfaßt werden, mehr ein. So beschränkt sich die Wirksamkeit der Schongebietsverordnungen vor allem auf Bohrungen und Grabungen, die nicht der Wassererschließung dienen. Hier soll der Vollständigkeit halber noch bemerkt werden, daß auch die Schongebietsverordnungen für Heilquellen, ohne direkt darauf abzuzielen, den quantitativen Schutz artesischer Grundwässer bewirkt haben, da in solchen Schongebieten auch für das Abteufen von Bohrungen aller Art die wasserrechtliche Bewilligungspflicht festgelegt ist. Diese geht z.B. im Schongebiet für die Peterquelle in Deutsch Goritz (LGB1. Nr. 145/1973) soweit, daß in ihrem in drei Zonen gegliederten Bereich schon Bohrungen ab 2,4 m und 10 m der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht unterworfen sind. Jedenfalls wurden in diesen Schongebieten fast keine artesischen Hausbrunnen mehr hergestellt.

#### 4. HYDROGEOLOGISCHE BETRACHTUNGEN ÜBER DEN SCHUTZ ARTESISCHEN GRUNDWASSERS

Nach dieser Darstellung der derzeitigen Vorgangsweise bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen für artesisches Grundwasser im Steirischen Becken, bei der eindeutig der Schutz der Ergiebigkeit dominierend im Vordergrund steht, soll kurz zur Frage der Notwendigkeit des qualitativen Schutzes Stellung genommen werden. Hierzu bilden die zur Verfügung stehenden Rechtsinstrumente und Kenntnisse über die hydrogeologischen Verhältnisse, insbesondere aber über die Regeneration dieser gespannten Grundwässer, die Ausgangsbasis.

##### 4.1 Der Schutz der Wasserqualität

Bei säkularer Betrachtung - wie es heute z.B. bei der Sicherung von Abfalldeponien gefordert wird - ist zumindest aus

hydrogeologischer Sicht auch für gespannte Grundwässer die Notwendigkeit von qualitativen Schutzmaßnahmen konsequent zu überdenken. Die zunehmende Nutzung dieser Druckwassersysteme läßt erwarten, daß ein beschleunigtes Nachströmen bzw. ein Nachrücken immer jüngerer Anteile des im jeweiligen Druckwassersystem gespeicherten Wassers erfolgt. Altersuntersuchungen des gefördertten Wassers, die in Abständen von mehreren Jahren erfolgen, könnten für einzelne, stark beanspruchte Druckwassersysteme Aussagen über Verbrauch und Ersatz der ursprünglichen Grundwasservorräte erbringen. Nach H. MOSER und W. RAUERT (1980) lassen sich bezüglich des  $^{14}\text{C}$ -Modellalters drei Fälle unterscheiden:

- a) Das  $^{14}\text{C}$ -Modellalter des Grundwassers nimmt während der Nutzung des Grundwasserleiters zu. Hierbei kann entweder altes Tiefenwasser oder Wasser aus dem Grundwasserstauer (leaky aquifer) mobilisiert werden. Im ersten Fall wird im allgemeinen auch eine Erhöhung der Mineralisation festgestellt. Der zweite Fall tritt vor allem bei drastischen Absenkungen des Druckniveaus ein und wird als "Mining Effekt" bezeichnet. Im allgemeinen wird in diesem Fall nach einigen Jahren wiederum eine Abnahme des Modellalters festzustellen sein.
- b) Das  $^{14}\text{C}$ -Modellalter des Grundwassers nimmt während der Nutzung des Grundwasserleiters ab, sein  $^3\text{H}$ -Gehalt zu. Dies bedeutet, daß das alte Grundwasser aufgebraucht und durch junges Grundwasser ersetzt wird. Auch in diesem Falle sind häufig Änderungen der chemischen Beschaffenheit des Wassers zu bemerken. Bei starker Absenkung des Grundwasserspiegels erweisen sich auch mächtige Sperrschichten aus Ton als durchlässig.
- c) Das  $^{14}\text{C}$ -Modellalter des Grundwassers bleibt bei der Nutzung konstant. Dies bedeutet im allgemeinen, daß die natürlichen hydraulischen Verhältnisse durch die Grundwasserentnahmen im Meßzeitraum nicht oder kaum gestört wurden.



Diese Interpretationsmöglichkeiten lassen erkennen, daß sorgfältige und vor allem über Jahre laufende Untersuchungen notwendig sind, um aus dem Modellalter von Tiefengrundwasser gesicherte Aussagen zum Wasserhaushalt machen zu können.

Geht man davon aus, daß es sich um Porengrundwasser handelt, das laminar den Aquifer durchströmt, so kann angenommen werden, daß sich in diesem nach dem Eindringen von Kontaminationen in Abhängigkeit von Fließgeschwindigkeit und Dispersion Verunreinigungsfronten bilden. Mit Einschichtungen bzw. Durchmischungen, wie sie in Karstsystemen erfolgen, wird hier in geringerem Maße zu rechnen sein, ohne daß sie aber ausgeschlossen werden könnten. Auf Inhomogenität der Grundwasserleiter ist jedenfalls zu achten. Diese Vorstellungen können nun bestenfalls für die Planung gezielter Untersuchungen dienen, die heute noch weitgehendst fehlen. Zu bedenken ist hierbei, daß für chemische Verunreinigungen die dtz. Kenntnisse über die Abbauvorgänge in gespannten Grundwasserleitern nicht ausreichen, alleine aus Grund der Verweilzeit dieser Wässer im Untergrund bzw. der großen Distanz zu den Alimentationsgebieten jede qualitative Beeinträchtigung von vornherein und dauernd auszuschließen. Zweifellos muß heute auch mit persistenten Stoffen gerechnet werden, für die der Zeitfaktor nahezu wirkungslos ist. Eine bakteriologische Gefahr kann wegen der langen Verweildauer des Wassers im Untergrund ausgeschlossen werden und daher diese Komponente bei Schutzmaßnahmen außer Betracht bleiben.

Das Überlegungen bezüglich der qualitativen Sicherung alter, langsam strömender und über weite Bereiche von schwer- bis undurchlässigen Schichten überdeckter Grundwässer immer aktueller werden, beweist eine Arbeit von O.R. KUNTSCHIK (1982). In dieser Arbeit werden vor allem theoretische Überlegungen auf der Grundlage geologischer und hydrologischer bzw. hydromechanischer Grundtatsachen angestellt, da hierüber praktische Erfahrungen bzw. Untersuchungsergebnisse

nicht in ausreichendem Maße vorliegen. Heute schützt noch das hohe Alter dieser Wässer vor schwer abbaubaren Substanzen, doch kann durch verstärkte Wasserentnahmen eine Beschleunigung des Nachströmens herbeigeführt werden, die zu einer sukzessiven Abnahme des Alters des gewonnenen Wassers und damit des Zeitpuffers führt. Auch kann ein Durchdringen persistenter Stoffe in tieferliegende Grundwasserleiter für die Zukunft nicht mehr von vornherein ausgeschlossen werden.

Angeregt durch die im folgenden referierte Arbeit von H.G. VON WAEGENINGH (1977) wird von O.R. KUNTSCHNIK der Schutz derartiger Grundwässer unter dem Gesichtspunkt von Zeiträumen betrachtet.

Ausgehend von den unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnissen in den Niederlanden, die durch flach gelagerte, weitverbreitete, sandige Grundwasserleiter und geringe Fließgeschwindigkeiten (10 - 100 m/a) sowie eine seichte Lage des Grundwasserspiegels (ca. 2 m u.T.) charakterisiert sind und die eine Erfassung ganzer Einzugsgebiete von vornherein unmöglich machen, wird hier dem Zeitfaktor ausschlaggebende Bedeutung auch für chemische Verunreinigungen zuerkannt. Weiters ist in den Niederlanden die Wassergewinnung auf größere Betriebe (110 Versorgungsbetriebe und 235 Grundwassergewinnungsanlagen) konzentriert. So wurde von einer eigenen Kommission (CBW, Commissie Bescherming Waterwingebieden) damals der Vorschlag gemacht, Richtlinien auf der Grundlage der Zeit zu erlassen, die das Wasser benötigt, die Fassungsanlage zu erreichen. Diese Zeit soll dabei so gewählt werden, daß nach dem Auftreten einer Kalamität (wohl verbunden mit einer Verunreinigungsgefahr für eine Wasserfassung) ausreichend Zeit vorhanden ist, die Folgen erfolgreich zu bekämpfen. Die Wahl des Zeitraumes ist sohin eine betriebstechnische und finanzielle Frage. Die Frage nach der Grenzziehung für die Schutzzone, die hiemit zu der

Frage nach der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers wird, richtet sich daher an die Hydrologie oder Hydrogeologie. Die Dimensionierung der Schutzzonen erfolgt also nicht auf Grund chemischer, physikalisch-chemischer oder biochemischer und biologischer Prozesse, die eine Verunreinigung abbauen, umwandeln oder absorbieren, wie es in bakteriologischer Hinsicht die 50-Tagegrenze der deutschen Richtlinie bezweckt. Diese Einstellung wird vorallem mit der ungenügenden Kenntnis der im Untergrund und Grundwasser verlaufenden obzitierten Prozesse begründet.

So soll in den Niederlanden eine bakteriologisch-chemische Schutzzone gleich wie in der deutschen Richtlinie abgegrenzt werden, innerhalb der eine Verweilzeit von 60 Tagen verlangt wird. An diese schließt ein weiteres chemisches Schutzgebiet an, das in eine innere Zone, die von Verunreinigungen nur im Zeitraum von mindestens 10 Jahren, und eine äußere Zone, die in mindestens 25 Jahren passiert werden kann, gegliedert wird.

Bei der 10-Jahres-Zone geht man davon aus, daß in diesem Zeitraum eine Ersatzanlage geschaffen werden kann. Die 25-Jahresgrenze ist sodann dem Zeitraum angepaßt, in dem eine derartige Wassergewinnungsanlage normalerweise finanziell abgeschrieben ist.

Diese beiden Zonen werden nun nicht für alle Nutzungen gesperrt, sondern es werden in ihnen nur Vorschriften zur Prävention von Verunreinigungen mit schwer abbaubaren und persistenten Stoffen erlassen.

Inzwischen ist im Jahre 1980 in den Niederlanden von der zuvor genannten Kommission (CBW) die Richtlinie im vorerwähnten Sinne fertiggestellt worden.

Diese Art des Grundwasserschutzes geht nun davon aus, daß

das Eintreten einer Verunreinigung mit Sicherheit rechtzeitig erkannt wird und die Abwehr auch tatsächlich rechtzeitig durchführbar ist. Bei langfristig wirksamen Erwägungen, so führt O.R. KUTSCHNIK aus, kann nun einem Momentzustand nicht mehr die alleine maßgebende Rolle zukommen. Es ist vielmehr zu überlegen, ob nicht andere definierte Zustände zur Grundlage der Ermittlung gemacht werden müssen. Für die artesischen Wässer im Steirischen Becken wäre nun der Zustand einer einseitigen, hohen Beanspruchung eines einzelnen Druckwassersystems zu überdenken. Dies bedeutet, daß bei Vorhandensein von Tritium und einer größeren Sauerstoffsättigung in Zusammenhang mit großen Entnahmemengen bezogen auf einen geringmächtigen Aquifer, doch die Erkundung des Alimentationsgebietes notwendig erscheint, um es unter besonderen Schutz stellen zu können. Für diese Bemühungen stehen aber auch bei solchen Wasservorkommen Jahre zur Verfügung. Jedenfalls wird gerade bei den artesischen Wässern die langfristige Entwicklung ihrer chemischen Beschaffenheit in vergleichender Weise im Auge zu behalten sein. Auf bemerkte markante Änderungen der chemischen Beschaffenheit der Wasserspende artesischer Brunnen wird durch eine Intensivierung der Untersuchungen sowie durch Bemühungen zur Erkundung des Alimentationsgebietes zu antworten sein.

Insgesamt reichen die Kenntnisse über die hydrologischen Verhältnisse bei den artesischen Grundwässern im Steirischen Tertiärbecken für die Einleitung besonderer Maßnahmen zum Schutze ihrer Qualität nicht aus. Diese Feststellung muß daher Antrieb zur weiteren Erkundung dieser Druckwassersysteme sein, will man ihren Wert für die Trinkwasserversorgung bei säkularer Betrachtung erhalten.

Hier scheint es notwendig, auf ein weiteres Faktum, das auch für die Qualität des erschroteten Wassers relevant ist, aufmerksam zu machen. Bei ordnungsgemäß nach dem dztg.

Stand der Bohr- und Brunnenbautechnik hergestellten Brunnen kann, wenn man von Alterungsprozessen absieht, auch bei starker Absenkung des Brunnenwasserspiegels keine Verunreinigung von der Oberfläche her, vor allem in Form von Sickerwasser aus seiner unmittelbaren Umgebung, der geförderten Wassermenge zugemischt werden oder gar in den Aquifer gelangen. Bei den meist von Brunnenmeistern mit unzulänglicher Ausrüstung hergestellten artesischen Hausbrunnen fehlt häufig die dichte Verbindung zwischen Bohrlochwand und Verrohrung, die bei den kommunalen Brunnen durch Zementationsstrecken erreicht werden kann. Hier ist die Herstellung eines Kurzschlusses zwischen Oberfläche und Aquifer bzw. Wasserspende des jeweiligen Brunnens durchaus möglich. Billiges Rohrmaterial und die natürliche Alterung ergeben darüberhinaus Leckstellen, die in Zusammenhang mit der meist nicht bis zur wasserführenden Schichte oder gar bis zur Bohrlochsohle reichenden Verrohrung auch zu Kurzschlüssen zwischen Horizonten verschiedener Wasserqualität führen können. Durch derartige Kurzschlüsse kann darüberhinaus ein ständiges Abfließen aus dem genutzten Aquifer erfolgen, das auch eine Minderung der Ergiebigkeit zur Folge hat.

#### 4.2 Der Schutz der Ergiebigkeit

Unabhängig von Maßnahmen zum Schutz der Qualität ist schon auf Grund der bisherigen Nutzungsart dieser Brunnen, bei der die unrationellen artesischen Hausbrunnen bei weitem überwiegen, der Schutz der Quantität weiterhin konsquent zu verfolgen, ja nach Möglichkeit zu intensivieren. Der Schutz der Quantität kann, wie die konkreten Beispiele zeigen, über kommunale Anlagen erzielt werden. Neben der rationellen Nutzung können Schutz- und Schongebiete für derartige Anlagen vor weiterer Erschließung bewahren. Hier soll darauf verwiesen werden, daß in der Oststeiermark nach den Erhebungen von H. ZETINIGG (1982) für das Jahr 1981 einer Wasser-

entnahme von durchschnittlich 56 l/s durch kommunale artesische Brunnen ungefähr doppelt soviel - nämlich 117 l/s - durch artesische Hausbrunnen gegenüberstehen. Diese Wassermenge wird ungefähr in der von F. RONNER und J. SCHMIED (1968) geschilderten Art und Weise genutzt - die für den Bezirk Fürstenfeld einen Nutzungsgrad des erschroteten Wassers von nur ca. 5 % ergab. In der Zwischenzeit mag diese Wasserverschwendung durch Ansteigen des tatsächlichen Bedarfes, Drosselungsmaßnahmen, Absinken des Druckwasserspiegels und damit der Schüttung, zurückgegangen sein und könnte zwischen 80 % und 90 % liegen. Dies ist ein Ausnutzungsgrad, der aus der Sicht der Verknappung der qualitativ guten und sicheren Wasservorkommen sowie in Hinblick auf die Schwierigkeiten verschiedenster Art, die heute der Errichtung von Wassergewinnungsanlagen entgegenstehen, eigentlich als unerträglich zu bezeichnen ist.

## 5. DIE HYDROGEOLOGISCHEN VERHÄLTNISSE BEI DEN ARTESISCHEN GRUNDWÄSSERN IM STEIRISCHEN BECKEN

Alle diese Überlegungen machen es notwendig, sich bezüglich der Qualität der genutzten artesischen Wasser nicht nur auf die dichten Deckschichten und das Alter der Wasser zu verlassen. Es muß von hydrogeologischer Seite darauf aufmerksam gemacht werden, daß eine mit der Zeit einhergehende Verschlechterung der Wasserqualität die Antwort auf Verunreinigung der bisher nicht bekannten und daher ausweisbaren Alimentationsgebiete dieser Druckwassersysteme sein kann. Eine Präventivmaßnahme stellt zweifellos die Intensivierung des allgemeinen Gewässerschutzes und überhaupt jede Maßnahme zum Schutze der Umwelt dar. Trotzdem ist es notwendig, durch konsequente Erfassung der hydrogeologischen Verhältnisse die Basis für wirksame Schutzmaßnahmen zu schaffen. Hierzu sind, wie bereits erwähnt, einerseits die Einzugsge-

bierte und andererseits die Verweildauer des artesischen Wassers im Untergrund bzw. die Abstandsgeschwindigkeit von ausschlaggebender Bedeutung.

### 5.1 Die Einzugsgebiete der artesischen Grundwässer

Es ist für diese Betrachtung von Vorteil nochmals die heute erkannten Arten der Alimentation dieser Druckwassersysteme aufzuzeigen, da daraus zweifellos eine Spezifizierung der Gewässerschutzmaßnahmen auf diese speziellen Wasservorkommen erfolgen kann. Nach H. ZETINIGG (1982) erfolgt die Alimentation artesischer Horizonte im Steirischen Becken generell in folgenden Bereichen:

- 1) Im Bereich der Ausbisse der tertiären Grundwasserleiter entlang des Gebirgsrandes
- 2) Im Bereich der Ausbisse der tertiären Grundwasserleiter innerhalb des Steirischen Beckens
- 3) An Verwerfungen und vulkanischen Spalten bzw. durch die Klüfte der vulkanischen Gesteine, soweit diese oberirdisch ausbeissen
- 4) Durch Versickerung von Flußwasser in artesische Horizonte z.T. im Wege über das oberflächennahe ungespannte Grundwasser der quartären Lockerablagerungen

Die Ausbisse der tertiären Grundwasserleiter werden am ehesten noch entlang des Grundgebirgsrandes, insbesondere dort wo es sich um Kalksandsteine handelt, feststellbar bzw. kartierbar sein. Innerhalb des Tertiärbeckens scheint diese Aufgabe dzt. noch unerfüllbar. Insgesamt werden daher für diese Alimentationsbereiche bis auf weiteres nur die Maßnahmen des allgemeinen Gewässer- und Umweltschutzes wirksam sein. Die Vulkanite sind auf Grund ihrer beschränk-

ten Verbreitung von sekundärer Bedeutung. Hier ist aber zweifellos in Zusammenhang mit dem Schutz der Mineralwässer auch für die nichtmineralisierten artesischen Wässer ein Schutz gegeben. Die wichtigsten obertägigen Verbreitungsgebiete der Vulkanite werden durch die Schongebietsverordnung für die Heilquellen von Bad Gleichenberg und Hof bei Straden (LGB1. Nr. 179/1971) erfaßt.

Besondere Bedeutung kommt vor allem in quantitativer Hinsicht dem Punkt 4 zu. Hier ist durch H. ZOJER (1975 und 1981) durch die Konstruktion von Grundwassergleichen im Feistritztal bei Großwilfersdorf das Abströmen oberflächennahen Grundwassers, das auch in einer Vorflutbeziehung zur Feistritz steht, in tertiäre Grundwasserleiter nachzuweisen.

Im Raume Grafendorf wurde in einem langjährigen Untersuchungsprogramm die Alimentation der am Grundgebirgsrand ausstreichenden Sarmat-Grundwasserleiter untersucht. Über die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen und Isotopenmessungen sowie ein darauf basierendes Abflußmodell berichtet K. PRZEWLOCKI (1975). Eine kurze Zusammenfassung gibt J. ZÖTL (1983), in der er besonders darauf hinweist, daß auch im Grenzbereich zum Grundgebirge die Möglichkeit der Grundwasseranreicherung sarmater und pannoner Grundwasserleiter durch die Versickerung aus Oberflächengerinne besteht. Für ein flächenmäßig kleines Einzugsgebiet (Stambach und Reibersbach) konnten derartige Vorgänge durch das zuvor erwähnte Modell nachgewiesen werden.

Aus diesen Feststellungen ergibt sich, daß für die Qualität des artesischen Wassers auch die Gewässergüte der Oberflächengewässer und des oberflächennahen Grundwassers von Bedeutung sein kann. Die Bemühungen um die Qualität der Gewässer der Oststeiermark sind sohin auch für das artesische Grundwasser wichtig.



Aus der Kenntnis der Druckwassersysteme, insbesondere aber ihrer Alimentationsgebiete, kann erst abgeleitet werden, von wo besondere Gefahren für die Qualität drohen, und selbst diese Gefahren sind aufgrund des Alters der Wässer dzt. noch nicht akut. Bezüglich des Alters der artesischen Wässer im Steirischen Becken soll hier nur auf die Ergebnisse von G.H. DAVIES, G.L. MEYER und C.K. YEN (1968) verwiesen und festgestellt werden, daß seither viele weitere Messungen vorgenommen wurden, die noch nicht publiziert sind. In Hinblick auf die besonderen hydrogeologischen Verhältnisse bei diesen Druckwassersystemen ist für diese Wässer ein unvergleichlich höheres Maß an Sicherheit gewährleistet als bei den Grundwässern mit ungespannten Grundwasserspiegel und bei Karstwässern. Vorsicht ist allerdings bei den extrem seichtliegenden artesischen Horizonten geboten, da diese Lage wohl meist kurze Distanzen zu den Alimentationsgebieten signalisiert. So konnten z.B. in der Versuchsbohrung der Stadtgemeinde Feldbach in Gniebing im zwischen 13,8 und 18,7 m Tiefe gelegenen artesischen Horizont im Jahre 1969 durch die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal 34 T.U. nachgewiesen werden, was auf jüngeres Wasser hinweist. Tatsächlich ist für diesen ersten Horizont nach den geologischen Verhältnissen ein in der Nähe gelegenes Alimentationsgebiet zu vermuten. Aufgrund der flachen und nur wenig gestörten Lagerung der tertiären Schichtfolge des Steirischen Beckens ist daher generell für tiefer liegende artesischen Horizonte mit weiter entfernt gelegenen Alimentationsgebieten als für seichter liegende artesischen Horizonte zu rechnen.

## 5.2 Die Fließbewegungen der artesischen Grundwässer

Die Fließgeschwindigkeiten des artesischen Wassers sind neben den dichten Deckschichten das wichtigste Kriterium für alle Betrachtungen über den qualitativen Schutz artesischen Wassers.

Um nun die Vorstellungen über die Fließbewegungen der artesischen Grundwässer im Steirischen Becken, die von A. WINKLER-HERMADEN (1958) bereits auf wenige Zehnermeter pro Jahr geschätzt wurden, mit Hilfe der seither erworbenen Kenntnisse zu konkretisieren, soll versucht werden, Angaben über die Abstandsgeschwindigkeit zu machen. Hierzu werden Druckwassersysteme ausgewählt, von denen  $k_f$ -Werte und hydraulische Gradienten aus Aufschlußbohrungen mit Förderversuchen gewonnen werden konnten. Da für die Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit weiters noch das effektive Porenvolumen bekannt sein muß, wird hierfür eine Anschätzung für einen artesischen Horizont bei Blumau in der Höhe von 10 % von J.N. ANDREWS et.al. (1984) übernommen. Diese Anschätzung wirkt nach den diesbezüglichen Ausführungen von G. EINSELE et.al. (1983) plausibel. Unter Verwendung dieses Wertes wird sodann noch die Abstandsgeschwindigkeit aus einigen Messergebnissen der Filtergeschwindigkeit nach der Verdünnungs- oder Einlochbohrmethode abgeleitet. Diese Methode hat sich überall dort angeboten, wo für die Gewinnung von Trinkwasser nur eine Versuchsbohrung niedergebracht wurde, so daß neben dem  $k_f$ -Wert keine weiteren hydraulischen Parameter wie z.B. der hydraulische Gradient bestimmt werden konnten. Bei diesen Messungen wurde meist auch die Strömungsrichtung festgestellt, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen wird. Für konkrete, die Qualität betreffende Schutzmaßnahmen ist natürlich auch die Kenntnis der Strömungsrichtung von Nöten, da sie die Richtung der Längserstreckung von Schutzgebieten oder zumindest die Richtung in der die Alimentationsgebiete zu suchen sind, vorgibt.

#### 5.2.1 Der Aquifer von Großsteinbach

Als erstes Beispiel soll ein artesischer Horizont in der unterpannonen Schichtfolge im Bereich der Gemeinde Groß-

steinbach im Feistritztal angeführt werden. Im Jahre 1974 wurde im Auftrag des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung ca. 1 km südlich von Großsteinbach am linken Ufer der Feistritz eine von H. ZETINIGG (1975) näher beschriebene Untersuchungsbohrung bis 249,40 m Tiefe als Kernbohrung niedergebracht, um nach tiefliegenden artesischen Horizonten zu suchen und dadurch seichtere, bereits genutzte artesische Horizonte nicht stärker auszubeuten. Diese Bohrung wurde auf Grund der erschlossenen Schichtfolge sodann nur bis 120,0 m Tiefe verrohrt und hiedurch gespanntes Grundwasser mit negativen Druckniveau gefaßt. Die Bohrkerne wurden von H. POLESNY (1975) bearbeitet und festgestellt, daß bei 129,80 m Tiefe die Grenze Unterpannon - Sarmat liegt. Die darunterliegende Bohrlochstrecke verblieb sodann bis zur Endteufe im Obersarmat (Nonion granosum Zone). Die Schichten des Unterpannons wurden in den Jahren 1980/81 durch vier weitere Bohrungen, Großsteinbach II (Filterstrecke 52-56 m Tiefe), Kroisbach (Filterstrecke 74,5-79,5 m Tiefe), Großhartmannsdorf I (Filterstrecke 51-55,5 m Tiefe) und II (Filterstrecke 38,3-43,3 m Tiefe) erschlossen. In der aus einer Wechsellagerung von Sand, Kies und Tonmergel sowie Schlufftonen bestehenden Schichtfolge wurde ein seichtergelegener artesischer Horizont sandig-kiesiger Ausbildung von wenigen Metern Mächtigkeit durch diese vier Bohrungen erfaßt und auf seine Ergiebigkeit untersucht. Hier soll nur soweit auf die Untersuchungsergebnisse Bezug genommen werden als für die Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit notwendig ist.

Bei dieser Untersuchung wurden nun durch Überlauf- und Pumpversuche, die von J. NOVAK (1980 und 1981) ausgewertet wurden, die  $k_f$ -Werte bestimmt. Im Zuge dieser Versuche konnte über die Bewegungen der Druckwasserspiegel in den vier Bohrungen von H. BERGMANN und B. SACKL (1984) auch der Nachweis geführt werden, daß sie den gleichen artesischen Horizont erfassen, wobei allerdings zwei Bohrungen

und zwar Kroisbach und Großhartmannsdorf I in einem besser durchlässigen und zwei Bohrungen in einem schlechter durchlässigen Bereich dieses weitreichenden Aquifers liegen. Die weiteren Ausführungen beziehen sich sohin nur mehr auf die beiden zuerst genannten Bohrungen. Die Bohrung Großhartmannsdorf I liegt nach den Isolinien des Druckwasserspiegels ca. 2700 m grundwasserstromabwärts der am Talrand und damit höher gelegenen Bohrung Kroisbach, in der der Grundwasserspiegel unter Terrain verbleibt. Der hydraulische Gradient beträgt zwischen diesen beiden Bohrungen rund 1 ‰. Zur Strömungsrichtung des artesischen Wassers soll noch vermerkt werden, daß diese von der Bundesversuch- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien (1982), nach der Einbohrlochmethode gemessen wurde. Die Ergebnisse dieser Messungen stimmen annähernd mit den aus den Isolinien des Druckwasserspiegels ableitbaren Richtungen überein.

Die aus den Meßwerten obiger Untersuchungen ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten sollen in Tabellenform vorgestellt werden. Die Tabellenform wird gewählt, um den Streuungsbereich der Ermittlungen besser vor Augen zu führen und weiters darauf aufmerksam zu machen, daß hier nur die Größenordnung als real aufzufassen ist bzw. nur diese den Aquifer und die Abstandsgeschwindigkeit charakterisiert.

Großsteinbach - Aquifer

Grundlage für den verwendeten $k_f$ -Wert	$k_f$ -Wert	effektives Porenvolumen	hydraul. Gradient	Abstandsgeschwindigkeit
Bohrungen Kroisbach Pumpversuch	$1 \cdot 10^{-4}$ m/s	10 ‰	1,0 ‰	0,066 m/d
Bohrung Großhartmannsdorf I Überlaufversuch	$3,10^{-5}$ m/s	10 ‰	1,0 ‰	0,069 m/d
Bohrung Kroisbach als Pegel für Überlaufversuch Großhartmannsdorf I	$6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s	10 ‰	1,0 ‰	0,056 m/d

Aus diesen Darlegungen bzw. der Tabelle läßt sich eine Größenordnung der Abstandsgeschwindigkeit von 5-8 Zentimetern pro Tag für das artesische Grundwasser im untersuchten Aquifer annehmen. Als Charakteristik des Aquifers eignet sich wohl am besten das Ergebnis der Auswertung des Pegels Kroisbach zum Überlaufversuch an der Bohrung Großhartmannsdorf I. Diese Fließgeschwindigkeit (rund 5 cm/d bzw. 18 m/a) liegt somit etwas über dem Bereich, den K.P. SEILER (1983) als typisch für tiefe Grundwässer (<10 m/a) angibt.

Für eine Wasserprobe der Bohrung Großhartmannsdorf I vom 24.11.1982 wurde von der IAEA Wien ein korrigiertes  $^{14}\text{C}$ -Absolutalter von 7000 - 7600 Jahren bestimmt. Von der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien wurden Wasserproben vom 31.3.1982 sowohl von der Bohrung Großhartmannsdorf I als auch von der Bohrung Kroisbach einer  $^{14}\text{C}$ -Bestimmung unterzogen. Dabei wurde für das Wasser von Großhartmannsdorf I ein relatives  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $14.140 \pm 115$  Jahren und für Kroisbach ein solches von  $11.355 \pm 80$  Jahren angegeben. Die Bohrungen liegen rund 2700 m voneinander entfernt, wobei die Bohrung Kroisbach näher zum Beckenrand liegt. Der Altersunterschied entspricht sohin der Strömungsrichtung.

Für die Bohrung Kroisbach wurde weiters von H. BERGMANN und B. SACKL (1984) ein Randabstand von 20-40 km ermittelt. Tatsächlich liegt diese Bohrung ca. 6-8 km vom Grundgebirge entfernt. Ob allerdings der gegenständliche Aquifer bis zum Grundgebirge reicht bzw. im Grenzbereich zum Grundgebirge sein Alimentationsgebiet besitzt, muß dahingestellt bleiben.

Ein Vergleich der Fließgeschwindigkeit mit dem Randabstand und dem Alter der Wässer ergibt hier noch kein plausibles Ergebnis. Hiefür könnte als Erklärung gelten, daß die Fließgeschwindigkeiten in diesem Aquifer durch zahlreiche Entnahmen wesentlich erhöht sind. Weiters ist auch die Frage zu

stellen, ob Einschichtungen oder Mischungen von Wässern verschiedenen Alters in dem in seinen Durchlässigkeitsverhältnissen inhomogen ausgebildeten Aquifer erfolgen.

Eine plausible Erklärung für die Diskrepanzen zwischen den Altersangaben und den auf obige Art ermittelten Fließgeschwindigkeiten des artesischen Wassers gibt aber H. ZOJER (1987). Anlaß für diese Erklärung waren Untersuchungsergebnisse aus dem Feistritz- und Safental (Aquifer von Blumau und Obgrün). Während die aus Aquiferparametern nach dem Darcy'schen Gesetz ermittelte Abstandsgeschwindigkeit hydraulisch definiert ist, machen die Umweltisotope wie das  $^{14}\text{C}$ , als natürliche Markierungsmittel in das Wassermolekül eingebaut, die Bewegungen des Wassers direkt mit. Eine örtliche hohe Durchlässigkeit des Aquifers, herangezogen für die Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit, täuscht eine größere Fließgeschwindigkeit im Grundwassersystem vor, wenn das Wasser im Zuge seiner Bewegung zur Vorflut auch weniger durchlässige Bereiche durchströmen muß und so Verzögerungen seiner Bewegung erfährt. Die tertiären Sedimente des steirischen Beckens, insbesondere aber des Pannons, lassen auf Grund von häufigen Änderungen der Sedimentationsbedingungen (Fazieswechsel) tatsächlich sehr unterschiedliche  $k_f$ -Werte erwarten. Abstandsgeschwindigkeiten nach der Durchlässigkeit und dem  $k_f$ -Wert berechnet stellen sohin mögliche Höchstwerte dar, die eine Korrektur durch das begrenzte Abfließen in die Vorflut bedürfen. So wird auch die Anreicherung des Aquifers gesteuert, die nicht nur von seiner Durchlässigkeit sondern auch von dem auf die Fließgeschwindigkeit rückwirkenden reduzierten Ausfluß abhängt.

In derartigen Fällen könnte noch versucht werden, die Abstandsgeschwindigkeit aus Isochronen des artesischen Grundwassers zu bestimmen. Nach H. MOSER und W. RAUERT (1980) wäre die Zunahme des  $^{14}\text{C}$ -Modellalters in Fließrichtung des Grundwassers ein Maß für seine Abstandsgeschwindigkeit, ja

bei geringen Geschwindigkeiten die einzige direkte Methode zur Erfassung der Grundwasserbewegung in der Vergangenheit. Für die Abschätzung der Fließrichtung müssen hierzu weiters Grundwasserschichtenlinien vorhanden sein. Insgesamt ist diese Methode speziell auf gespanntes Grundwasser beschränkt. Jedenfalls könnte versucht werden, auf diese Art zu besseren Vorstellungen über die Fließrichtungen des artesischen Wassers einzelner Druckwassersysteme im Steirischen Becken zu gelangen.

#### 5.2.2. Der Aquifer von Blumau

Einen weiteren näher untersuchten artesischen Horizont im Steirischen Becken stellt der von J.N. ANDREWS et al.(1984) bearbeitete sogenannte "Blumau Aquifer" dar. Dieser Aquifer erstreckt sich mit einem Gefälle von ca. 1% über eine Distanz von ca. 6 km vom Feistritztal im Bereich von Großwilfersdorf nach Nordosten bis ins Safental im Bereich von Blumau. Er ist durch 3 Versuchsbohrungen und zwar bei Großwilfersdorf, Jobst und Blumau sowie durch einige artesische Hausbrunnen in Blumau erschlossen. In der Versuchsbohrung Blumau, die als Kernbohrung ausgeführt wurde, konnte H. POLESNY (1975) die Grenze Unterpannon - Obersarmat (Nonion granosum Zone) in 148,5 m Tiefe bestimmen. Der Aquifer gehört sohin dem Unterpannon an. Während dieser Aquifer im Feistritztal direkt an die grundwasserführenden quartären Lockerablagerungen, aus denen er nach H. ZOJER (1974) auch alimentiert wird, anschließt, erreicht er in Blumau eine Tiefe von fast 60 m. Seine Mächtigkeit beträgt einige Meter, die Beschaffenheit wechselt zwischen Sand und Kies in unterschiedlichen Anteilen bis hin zu Schluff. Durch einen Pumpversuch an der Versuchsbohrung Jobst konnte J. NOVAK (1978) einen  $k_f$ -Wert von  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s ermitteln. Da einige artesische Hausbrunnen, wie H. ZETINIGG (1975) berichtet, bereits auf die Bohrarbeiten, insbesondere aber auf das Klarspülen

der Bohrung Blumau mit einer Absenkung ihres Druckniveaus reagierten, war an dieser die Durchführung eines Pumpversuches nicht möglich. Allerdings wurden die Bohrkerne aus dem Bereich des Aquifers von E.P. NEMECEK (1974) im Labor einer  $k_f$ -Wert-Untersuchung unterzogen. Diese Untersuchung brachte mit  $k_f$ -Werten in der Größenordnung von  $10^{-7}$  m/s kein plausibles Ergebnis. Von H. ZETINIGG (1975) wurde dieses Ergebnis auf die Auswirkungen der Dickspülung auf die Bohrkerne zurückgeführt.

Für diesen Aquifer wird nun von J.N. ANDREWS et al. (1984) ein  $k_f$ -Wert in der Größenordnung von  $10^{-4}$  bis  $10^{-5}$  m/s angeschätzt und auf Grund eines Vergleiches mit einem ähnlichen Aquifer im Feistritztal ein  $k_f$ -Wert von  $3,5 \cdot 10^{-4}$  m/s als plausibel angenommen. Der hydraulische Gradient, bestimmt aus Messungen des artesischen Druckes, beträgt zwischen Großwilfersdorf und Blumau rund 0,3 ‰. Das effektive Porenvolumen wird von J.N. ANDREWS et al. (1984) mit 10 % angeschätzt. Auf Grund dieser Parameter wird in obzitiertem Arbeit die Fließzeit des artesischen Grundwassers über die Distanz von ca. 6 km je nach  $k_f$ -Wert auf 700 bis 7000 Jahre geschätzt.

Um nun die Abstandsgeschwindigkeit, die sich aus den obigen Parametern, insbesondere aber den aus der Inhomogenität des Aquifers resultierenden unterschiedlichen  $k_f$ -Werten ergeben, aufzuzeigen, sollen diese Ermittlungen in Form einer Tabelle vorgestellt werden. Gerade hier ist durch die Kernbohrung in Blumau die Inhomogenität des Aquifers gut dokumentiert. Da die beiden anderen Bohrungen mit Rollenmeiseln niedergebracht wurden und das Profil nur aus dem mit der Dickspülung zu Tage geförderten Bohrklein aufgenommen werden konnte, lassen diese Bohrprofile keine näheren Differenzierungen der Materialbeschaffenheit des Aquifers zu.

Auch für den Aquifer von Blumau kann auf Grund dieser Ermittlung, die insgesamt einer Anschätzung gleichzusetzen



Blumau - Aquifer

Grundlage für den verwendeten $k_f$ -Wert	$k_f$ -Wert	effektives Porenvolumen	hydraul. Gradient	Abstandsgeschwindigkeit
Anschätzung von J.N. ANDREWS et al. (1984)	$1 \cdot 10^{-5}$ m/s	10 %	0,3 ‰	0,0026 m/d
"	$1 \cdot 10^{-4}$ m/s	10 %	0,3 ‰	0,026 m/d
"	$3,5 \cdot 10^{-4}$ m/s	10 %	0,3 ‰	0,091 m/d
Bohrung Jobst Pumpversuch	$2,5 \cdot 10^{-4}$ m/s	10 %	0,3 ‰	0,065 m/d

ist, die Aussage gemacht werden, daß die Abstandsgeschwindigkeit in der Größenordnung von einigen Zentimetern pro Tag liegt. Unter anderem aus diesem Beispiel leitete H. ZOJER (1987) seine zuvor dargelegte Erklärung für die Diskrepanz zwischen Abstandsgeschwindigkeit und Alter des Wassers ab.

5.2.3. Die Ergebnisse von Filtergeschwindigkeitsmessungen

Ist es auf Grund der Tiefenlage eines Aquifers nicht möglich, die für einen Markierungsversuch zur Feststellung der Abstandsgeschwindigkeit oder zur Ermittlung des hydraulischen Gradienten notwendigen Pegelrohre herzustellen, so kann mit Hilfe der Einbohrloch- bzw. Verdünnungsmethode (H. MOSER und W. RAUERT 1980) die Filtergeschwindigkeit gemessen werden. Für diese Bestimmung der Filtergeschwindigkeit wird ein nach oben und unten abgeschlossener Teil der Wassersäule im Filterrohr mit einem radioaktiven Tracer markiert und sodann der zeitliche Konzentrationsabfall mittels eines Fühlers gemessen. Die Auswertung dieser Messung erfolgt auf Grund der Tatsache, daß die Konzentrationsabnahme dieser Lösung eine Funktion des Grundwasserdurchflusses im Filterrohr ist. Störfaktoren für diese Messungen stellen Vertikalströmungen sowie Dichteströmungen auf Grund

von Konzentrations- und Temperaturunterschieden sowie molekulare Diffusion und osmotische Zirkulation dar. An einer wirkungsvollen Elimination dieser Störfaktoren wird laufend gearbeitet.

Bei Durchführung von Messungen dieser Art kann im Anschluß daran auch die Fließrichtung des Grundwassers bestimmt werden. Ist die Tracerlösung infolge der Grundwasserbewegung im Filterrohr in den Aquifer bzw. in den Kiesfilter der verrohrten Bohrung ausgeflossen, so mißt man von der Bohrung aus mit einem richtungsempfindlichen Detektor die Verteilung des Tracers in einer Horizontalebene der Grundwasserströmung. Das Maximum der Strahlungsintensität ergibt sich dann in Fließrichtung des Grundwassers.

Die Möglichkeit, schon mit einem Grundwasseraufschluß die Filtergeschwindigkeit und die Strömungsrichtung zu bestimmen, prädestiniert diese Methode zur Anwendung bei der Untersuchung tiefliegender Grundwässer, wie sie z.B. die artesischen und gespannten Grundwässer im Steirischen Becken darstellen. So wurde an den Versuchsbohrungen des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung bei Grafendorf und Seibersdorf sowie den Versuchsbohrungen der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen bei Obgrün im Feistritztal derartige Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse sollen im folgenden in Form einer Übersichtstabelle vorgestellt werden, wobei aber auf die Angabe der Strömungsrichtung verzichtet wird, da diese jeweils nur von örtlichem Interesse ist. Über die Untersuchungen bei Grafendorf und Seibersdorf am Rande des Steirischen Beckens, die sich vor allem auch mit der Alimentation der artesischen Horizonte befassen, liegt ein abschließender Bericht von K. PRZEWLOCKI (1975) vor. In diesem Bericht wird ein Grundwassermodell, das vor allem auf Isotopenuntersuchung beruht, für den Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes vorgestellt. Die Bohrungen werden von H. ZETINIGG (1972) beschrieben. Über die Ergebnisse der Filtergeschwindigkeits- und Fließrich-

tungsmessungen in den zwei Bohrungen bei Obgrün (28,0 und 26,0 m Tiefe), die den seichtesten, dort vorhandenen artesischen Horizont erschließen, liegt ein Bericht des Institutes für Radiohydrometrie München (1971) vor. Über das Ziel dieser Untersuchung, nämlich die Erfassung der Regenerationsbereiche dieses Horizontes, berichtet H. ZOJER (1977).

Unter Verwendung eines effektiven Porenvolumens ( $\epsilon$ ) von 10 % ergeben sich aus den nach der Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode gemessenen Filtergeschwindigkeiten folgende Abstandsgeschwindigkeiten, die der Übersichtlichkeit wegen in der folgenden Tabelle zusammengefaßt sind.

Filtergeschwindigkeitsmessungen in Versuchsbohrungen nach artesischem Wasser

Bohrung	artesischer Horizont F = Tiefenlage d. Filter	gemessene $v_f$ m/d	$v_a$ bei $\epsilon=10\%$ m/d	Datum der Messung ausführende Stelle
Grafendorf I	2. Horizont, Sand, F: 51,9 - 54,9 m	$8 \cdot 10^{-3}$	0,08	13. - 27.11.1971 Inst. f. Radio- hydrometrie München
Grafendorf III	3. Horizont, Sand u. Kies, F: 82,82 - 85,82 m	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,11	"-
Grafendorf IV	5. Horizont, Kies, F: 165,4 - 168,4 m	$5 \cdot 10^{-3}$	0,05	"-
Seibersdorf II	2. Horizont, Kies u. Sand, F: 24,0 - 27,0 m	$3 \cdot 10^{-6}$ m/s	2,59	28. u. 29.11.1969 Bundesversuchs- u. Forschungsanst. Arsenal Wien
Obgrün I	1. Horizont, Sand, F: 24 - 26 m	$2,5-4,2 \cdot 10^{-2}$	0,25-0,42	26. - 28.11.1971 Inst. f. Radio- hydrometrie München
Obgrün II	1. Horizont, Sand u. Kies, F: 22 - 24 m	$3 \cdot 10^{-2}$	0,30	"-

Die Größenordnung der hier vorgestellten Abstandsgeschwindigkeiten entspricht nur z.T. den Ergebnissen der Ermittlung nach den hydraulischen Parametern für den Aquifer von Großsteinbach und Blumau. Die Bohrungen in Obgrün erschließen den dort vorkommenden seichtesten artesischen Horizont nicht weit von seinem Einzugsgebiet. In geringer Entfernung talwärts dieser Bohrung wird dieser artesischer Horizont durch mehrere artesische Hausbrunnen genutzt. Die speziellen Verhältnisse könnten daher als Grund für die im Dezimeterbereich gelegene Abstandsgeschwindigkeit angesehen werden. Zu der in der Versuchsbohrung Seibersdorf gemessenen Abstandsgeschwindigkeit von 2,59 m/d muß bemerkt werden, daß diese im Zuge der Bohrarbeiten in einer Hilfsverrohrung gemessen wurde, die danach gezogen wurde. Trotz der Lage dieser Bohrung am Rande des Steirischen Beckens kann dieses Meßergebnis nicht mehr als plausibel angesehen werden. Hier muß eine technische Störung der Messung vermutet werden.

Jedenfalls ist aus den hier vorgestellten Ergebnissen abzuleiten, daß eine kritische Betrachtung der vorliegenden Meßwerte, sowohl bezüglich der Meßtechnik als auch bezüglich der jeweiligen hydrologischen Verhältnisse, angebracht ist.

## 6. DIE BESONDERE BEDEUTUNG ARTESISCHEN GRUNDWASSERS

Die zuvor dargelegten Eigenschaften geben nun dem artesischen Wasser eine Bedeutung für die Trinkwasserversorgung, die nicht hoch genug eingeschätzt werden kann. Bei tiefer liegenden artesischen Horizonten (mehrere Zehnermeter) ist eine Abschirmung gegen Immissionen aller Art gewährleistet. Der schwächste Punkt in diesem System ist zweifellos die Bohrung selbst, wo technische Gebrechen und Undichtheiten zwischen Bohrlochwand und Verrohrung das Eindringen von Verunreinigungen nicht ausgeschlossen erscheinen lassen. Jedenfalls läßt bei der routinemäßigen bakteriologischen Untersuchung der Nachweis von Keimen in der Wasserspende

grundsätzlich auf technische Mängel am Brunnen und seinen Fördereinrichtungen schließen.

Diese Eigenschaften der Druckwassersysteme machen sie nun zum idealen Wasserspender für die Notversorgung bei Kontaminationen der seichtliegenden Wasservorkommen (primär Kontamination) durch radioaktive Substanzen (Verstrahlung), da eine Dekontamination mit technischen Mitteln im großen Maßstab wie G. MERKL (1985) ausführt, kaum möglich sein wird.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich weiters, daß der dichten Überdeckung und der langen Verweilzeit dieser Grundwässer im Untergrund ihr besonderer qualitativer Schutz und damit ihre Bedeutung für die Trinkwasserversorgung zu verdanken ist. Während die dichte Überdeckung durch die jeweilige Brunnenbohrung nachgewiesen und erkundet wird, sind Angaben über das Alter dieser Wässer und vorallem aber über die Fließgeschwindigkeiten noch selten. Es wird daher zuvor versucht für das Steirische Becken die diesbezüglichen Vorstellungen zu konkretisieren. Auf die Altersangaben, die durchwegs auf die Tritium- und  $^{14}\text{C}$ -Methode zurückgehen, wurde bereits Bezug genommen.

Entspricht nun ein Wasservorkommen, wie z.B. das artesische oder gespannte Grundwasser auf Grund der dichten Deckschichte, von den Naturgegebenheiten her den Anforderungen der Notversorgung im Falle von radioaktiven, chemischen oder biologischen Kontaminationen (z.B. ABC-Waffen), so ist es damit aber noch nicht getan. Die Brunnen, durch die derartige Wasservorkommen erschlossen werden, müssen, um diesen Zweck zu erfüllen, so hergestellt sein, daß derartige Kontaminationen einerseits nicht bis in den Brunnen selbst und in den Aquifer sowie andererseits auch nicht bei der Entnahme in das für die Verwendung vorgesehene Wasser gelangen können. Bauweise, Baustoffe und Bauteile dieser Brunnen müssen nach W. SUCH und W. HAMPEL (1981) elektrolytischen,

chemischen und mechanischen Einwirkungen für eine möglichst lange Zeit widerstehen und den hydrogeologischen Bedingungen entsprechen. Nach den beiden obzitierten Autoren stellt bei Trinkwasser-Notbrunnen die Erhaltung der ständigen Betriebsbereitschaft auf längere Zeiträume das größte Problem dar. Hierzu wäre vor allem auf Korrosion der Verrohrung und anderer Einbauten sowie die Alterung der Brunnen zu verweisen. Gerade dieses Problem kann durch artesische Brunnen, die ständig genutzt werden, ausgeschaltet werden. Bei diesen Brunnen wäre lediglich für eine obigen Forderungen entsprechende Ausführung des Bauwerkes und einen Plan für die Nutzung des Brunnens im Notfalle zu sorgen. Jedenfalls sollte die Zahl, Lage, Ausführung und Ergiebigkeit der bestehenden artesischen Brunnen den für den Zivilschutz zuständigen Stellen bekannt sein.

Im Zuge einer Darstellung der derzeitigen Verhältnisse bezüglich Radioaktivität von Oberflächen- und Grundwasser in der Bundesrepublik Deutschland stellt A. KRAUSPE (1984) fest, daß die Wasserwirtschaft tiefe Grundwasserleiter bevorzugt der öffentlichen Trinkwasserversorgung widmen soll. Durch Kernwaffenversuche und Unfälle bei der zivilen Nutzung von Kernenergie sind Oberflächenwasser, Uferfiltrat und Karstwasser besonders gegen Verstrahlung gefährdet. Durch Verbund der Rohrnetze mit weniger oder erst später radioaktivitätsanfälligen Grundwasserwerken, insbesondere aber mit Fassungsanlagen von Tiefengrundwasser, sollte die Möglichkeit geschaffen werden, im Ernstfall auf eine sichere Versorgung umzustellen oder die Radioaktivität durch Verscheiden mit Grundwasser auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Diese Feststellung ist als weiteres Argument für die Schaffung eines Wasserverbundes unter dem Gesichtspunkt der Besonderheiten der jeweiligen Wassergewinnung aufzufassen.

## 7. VORSCHLÄGE ZUM SCHUTZ ARTESISCHEN WASSERS

Diesem Abschnitt soll nochmals die Feststellung vorangestellt werden, daß der Schutz der Quantität bei Tiefengrundwasser eine Selbstverständlichkeit ist und keiner weiteren Diskussion bedarf. Diese Notwendigkeit ist durch die Statuierung der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht (§10, Abs. 3, WRG 1959) anerkannt. Sie ergibt sich, abgesehen von der grundsätzlichen Notwendigkeit zur Vermeidung jeder Wasserverschwendung, auch aus der mangelnden Kenntnis des Wasserhaushaltes der einzelnen Druckwassersysteme.

Hiezu ist zu bemerken, daß dieses Problem bisher vorrangig behandelt wurde. Die Einrichtung von Schutz- und Schongebieten für einige Teile von Druckgebieten solcher Systeme beweisen dies.

In qualitativer Hinsicht ist in gleicher Weise die Notwendigkeit zum Schutze der Fassungsanlage, also des Brunnens selbst, außer Diskussion zu stellen. Die Gründe hierfür wurden in Abschnitt 3 näher dargelegt und sollen daher hier nicht wiederholt werden.

Bezüglich des Schutzes der Einzugsgebiete ergeben sich einerseits durch die verstärkte Nutzung dieser Wässer und andererseits durch die Erfahrungen mit persistenten Stoffen bei den seichtliegenden Grundwässern neue Gesichtspunkte. So muß eine Abnahme des Alters der Tiefengrundwässer im Zuge ihrer intensiven Nutzung, die den Zeitpuffer verringert, im Auge behalten werden. Weiters liegen noch zu wenig systematische Untersuchungsergebnisse über die chemischen Vorgänge in diesen Druckwassersystemen vor, um sich über die Gefahren des Durchdringens persistenter Stoffe hinwegsetzen zu können. Nicht zuletzt deswegen wird heute für die Qualität des Wassers gerade in Hinblick auf Tiefengrundwässer eine säkulare Betrachtungsweise gefordert.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte muß daher die forcierte Erkundung der Einzugsgebiete und des Wasserhaushaltes von Tiefengrundwässern verlangt werden. Es geht nicht an, daß solche Systeme sozusagen "ins Blaue hinein" einer immer stärkeren Nutzung unterzogen werden, ja daß sie geradezu als Ausweg in Hinblick auf die Kalamitäten mit den seichtliegenden Grundwässern angesehen werden. Hierzu soll bemerkt werden, daß bei den seichtliegenden Grundwässern inzwischen die Erfassung ihres Wasserhaushaltes bei kommunalen Nutzungen immer mehr und mehr zur Selbstverständlichkeit wird. Sind nun die Einzugsgebiete von Tiefengrundwässern bekannt, so können und sollen dort die entsprechenden Schutzmaßnahmen in Hinblick auf persistente Stoffe getroffen werden. Dies kann entweder durch Schutzgebiete ohne speziellen Maßnahmen bezüglich eines bakteriologischen Schutzes oder durch Schongebiete erreicht werden. Dies gilt auch dann, wenn die Alimentation der Tiefengrundwässer im Wege über das oberflächennahe ungespannte Grundwasser erfolgt. Die Auswahl des Rechtsinstrumentes wird dabei vor allem von der Größe des zu schützenden Gebietes und von der Durchsetzbarkeit der besonderen Maßnahmen abhängen.

Sind nun die Einzugsgebiete von genutzten Tiefengrundwässern nicht bekannt, so sind sie im Bereiche der Nutzung selbst, einer besonders genauen und kontinuierlichen Kontrolle ihrer Qualität, ihres Druckniveaus und ihres Alters zu unterziehen, um allfällige Änderungen rasch erkennen zu können.

In gleicher Weise sind in den Gebieten, die als Einzugsgebiete dieser Tiefengrundwässer zumindest theoretisch in Frage kommen, alle Maßnahmen des Gewässer- und Umweltschutzes zu intensivieren, da diese zweifellos auch dem Tiefengrundwasser nützen, also beitragen, seine Qualität zu erhalten. Diese Maßnahmen werden sich auch bei allfälligen direkten Alimentationen artesischen Wassers aus Oberflächengewässern positiv auswirken.



In wasserwirtschaftlicher Hinsicht resultiert aus dem besonderen Wert von Tiefengrundwasser für die Trinkwasserversorgung auch eine besondere Verpflichtung diese Wasservorkommen in ihrer Ergiebigkeit und Beschaffenheit unbeeinträchtigt für die Zukunft zu erhalten.

## 8. LITERATURANGABEN

- ANDREWS, J.N. et al.: Environmental Isotope Studies in two Aquifer Systems. A Comparison of Groundwater Dating Methods. - Isotope Hydrology 1983, S 535 - 576, International Atomic Energy Agency, Vienna 1984.
- BERGMANN, H. u. SACKL, B.: Bericht über die Auswertung der Druckspiegelmessungen an den Artesern des Feistritztales für die Jahre 1983 und 1984. - unveröffentl., 9 S, 5. Beil., Graz 1984.
- DAVIES, G.H., G.L. MEYER u. C.K. YEN: Isotope Hydrology of Artesian Aquifers of the Styrian Basin. - Steir. Beitr. zur Hydrogeol., Jg. 1968, S 51 - 62, Graz 1968.
- EINSELE, G.: Tiefe Grundwässer - Bedeutung, Begriffe, Eigenschaften, Erkundungsmethoden. - DVWK Schriften 61, I. Teil, 107 S, Hamburg, Berlin, Parey 1983.
- KRAUSPE, A.: Unser radioaktives Wasser. - Steir. Beitr. zur Hydrogeol., 36, S 5 - 82, 24 Fig., Graz 1984.
- KUNTSCHIK, O.R.: Gedanken zur Rangfolgefestlegung bei Maßnahmen zum Schutze des Grundwassers. - GWF-Wasser/Abwasser, 123, H.4, S 199 - 202, München 1982.
- MERKL, G.: Notwasserversorgung - Bemerkungen zur Wasserversorgung im Notstandsfall. - Berichte aus Wasserwirtschaft u. Gesundheitsingenieurwesen, Techn. Univ. München, Nr. 60, Festschrift zum 60. Geburtstag von o.Prof.Dr.Ing. W.Bischofsberger, S 429 - 474, München 1985.
- MOSER, H. u. W. RAUERT: Isotopenmethode in der Hydrologie. - Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 8, 400 S, 227 Abb., 32 Tab., Berlin, Stuttgart, Borntraeger 1980.

- NEMECEK, E.P.: Bohrung Blumau - Bodenuntersuchungen. - unveröffentl., Graz 1974.
- NOVAK, J.: Versuchsbohrung Jobst, Pumpversuch - Gutachten. - unveröffentl., 3 S, 3 Beil., Graz 1978.
- NOVAK, J.: Arteser Großhartmannsdorf, Untersuchung - Gutachten. - unveröffentl., 3 S, 3 Beil., Graz 1980.
- NOVAK, J.: Arteser Kroisbach, Pumpversuch - Gutachten. - unveröffentl., 2 S, 4 Beil., Graz 1981.
- POLESNY, H.: Zur Geologie von Bohrungen nach artesischem Grundwasser in der Oststeiermark. - Berichte d. wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Bd. 33, S 62 - 71, 4 Taf., Graz 1975.
- PRZEWLOCKI, K.: Hydrologic Interpretation of the Environmental Isotope Data in the Eastern Styrian Basin. - Steir. Beitr. zur Hydrogeol., Jg. 1975, S 85 - 133, 14 Fig., Graz 1975.
- RONNER, F. u. J. SCHMIED: Raubbau an artesischem Wasser in der Oststeiermark. - Steir. Beitr. zur Hydrogeol., Jg. 1968, S 63 - 80, Graz 1968.
- SEILER, K.P.: Tiefe Grundwässer und Faktoren, die das Absenkungsgeschehen in tiefen Grundwässern beeinflussen. - Zeitschr. dt. geol. Ges., 134, S 845 - 855, 4 Abb., Hannover 1983.
- SUCH, W. u. W. HAMPEL: Entwicklung und Stand der Trinkwasser-Notversorgung in der Bundesrepublik nach dem Wassersicherstellungsgesetz. - GWF - Wasser/Abwasser, 122, H. 9, S 402 - 410, München 1981.
- UDLUFT, P.: Nutzung von Tiefengrundwasser zur Trinkwasserversorgung. - Zeitschr. dt. geol. Ges., 128, S 451-410, München 1981.

- UDLUFT, P.: Das Grundwasser Frankens und angrenzender Gebiete. - Steir. Beitr. Hydrogeol., Jg. 1979, S 5 - 128  
Graz 1979.
- WAEGENINGH, H.G. van: Grundwasserschutz in den Niederlanden. Zeitschr. dt. geol. Ges., 128, S 417 - 426, 3 Abb., Hannover 1977.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Geologisches Gutachten betreffend Schutzmaßnahmen für die Wasserversorgung der Stadt Feldbach. - unveröffentl., 26 S, Graz 1958.
- ZETINIGG, H.: Die Bohrungen zur Untersuchung artesischer Wässer in Grafendorf und Seibersdorf (Oststeiermark). - Berichte d. wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Bd 21 S 47 - 86, 4 Taf., Graz 1972.
- ZETINIGG, H.: Neue Bohrungen nach artesischem Grundwasser in der Oststeiermark. - Berichte d. wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Bd. 33, S 4 - 62, Graz 1975.
- ZETINIGG, H.: Die artesischen Brunnen im Steirischen Becken. Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus., Joanneum, H. 43, 192 S, 10 Taf., Graz 1982.
- ZETINIGG, H.: Die Erschließung von gespanntem und artesischem Grundwasser. - Gas/Wasser/Wärme, 37, S 153 - 164, Wien 1983.
- ZÖTL, J.: Tiefengrundwässer - Nutzung und Beherrschung. - Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 30, H. 3/4, S 46 - 52, Wien 1978.
- ZÖTL, J.: Tiefengrundwässer im Oststeirischen Becken (Österreich). - Zeitschr. dt. geol. Ges., 134, S 857 - 870, 1 Abb., 3 Tab., Hannover 1983.

ZOJER, J.: Untersuchungen zur Frage des Wasserverlustes an der mittleren und unteren Feistritz. - Steir. Beitr. zur Hydrogeol., 1972, S 11 - 47, 7 Fig., 3 Taf., Graz 1972.

ZOJER, J.: Forschungsprojekt "Untersuchung artesischer Wässer im Steirischen Becken" - Ergebnisbericht für das Jahr 1974. - unveröffentl., Vereinigung für hydrogeol. Forschungen, 20 S, 7 Fig., Graz 1975.

ZOJER, H.: Ergebnisbericht über die Untersuchung artesischer Wässer im Steirischen Becken seit dem Jahre 1976. - unveröffentl., Vereinigung für hydrogeol. Forschungen, 39 S, 10 Taf., Graz 1977.

ZOJER, H.: Untersuchungen artesischer Wässer im zentralen Steirischen Becken (Großwilfersdorf - Blumau). - Festschrift Josef G. Zötl, S 159 - 172, 7 Fig., Forschungszentrum, Graz 1981.

ZOJER, H.: Gespannte Grundwässer der pannonen Schichtfolge im unteren Feistritz- und Safental. - Bericht der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, vorliegender Band, Graz 1987.

Bericht über die Bestimmung der Fließrichtung sowie des Tritium- und Deuteriumgehaltes an der Tiefbohrung Feldbach (Gniebing) - unveröffentl., Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, 4 S., Wien 1969.

Bericht über die Messung der Filtergeschwindigkeit und Fließrichtung bei der artesischen Bohrung Seibersdorf/Stmk., - unveröffentl., Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, 3 S., 2 Beil., Wien 1970.

Bericht über die Bohrlochmessungen im Feistritztal. - unveröffentl., Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal 7 S., 5 Beil., Wien 1982.

Commissie Bescherming Waterwingebieden: Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming von waterwingebieden. Rijswijk 1980.

Institut für Radiohydrometrie München: Bericht über die Messungen der Filtergeschwindigkeit und der Fließrichtung von gespannten Grundwässern im Hartberg-Grafendorfer Becken und im Feistritztal in der Oststeiermark. unveröffentl., 14 S., 5 Beil., München 1971.

Tiefengrundwässer und Grundwasserversorgung. - Österr. Wasserwirtschaftsverband, Regelblatt 202, 60 S., 6 Abb. 5 Tab., Wien 1986.

Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 28. Mai 1986 zum Schutze und zur Sicherung des Grundwassers und des Mineralwasservorkommens im Raume Feldbach, LGB1. Nr. 131 (mit Karte 1:15.000).

Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 21. Juni 1978 zum Schutze und zur Sicherung des Grundwassers im Raume Fehring, LGB1. Nr. 27 (mit Karte 1:25000)

Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 14. Dezember 1971 zum Schutze der Heilquelle in der Gemeinde Bad Gleichenberg (politischer Bezirk Feldbach) und des Johannisbrunnens in der Gemeinde Hof bei Straden (politischer Bezirk Radkersburg), LGB1. Nr. 179.

Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 23. November 1973 zum Schutze der Heilquelle "Peterquelle" in Deutsch-Goritz (politischer Bezirk Radkersburg), LGB1. Nr. 145.

ANSCHRIFTEN DER VERFASSEN

Doz. Dr. Hans Zojer  
Forschungsgesellschaft Joanneum  
Institut für Geothermie und Hydrogeologie  
8010 Graz, Elisabethstraße 16/II

ROBR Doz. Dr. Hilmar Zetinigg  
Fachabteilungsgruppe Landesbaudirektion  
Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung  
8010 Graz, Stempfergasse 7





Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung  
des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung  
Landesbaudirektion

---

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände:

Band 1	VORTRAGSREIHE ABFALLBESEITIGUNG, 18.APRIL 1964, Neuauflage 1968, von W.Tronko, P.Bilek, J. Wotschke, K. Stundl, F.Heigl, E.v.Conrad,	S 84.--
Band 2	EIN BEITRAG ZUR GEOLOGIE UND MORPHOLOGIE DES MÜRZ-TALES, von R.Sperlich, W.Scharf, A.Thurner, 1965,	S 84.--
Band 3	VORTRAGSREIHE ABFALLVERARBEITUNG, 18.MÄRZ 1965, von F.Fischer, R.Braun, F.Schönbeck, W.Tronko, K.Stundl, B.Urban,	S 84.--
Band 4	"GEWÄSSERSCHUTZ IST NOTWENDIG", von J.Krainer, F.Hahne, H.Kalloch, F.Schönbeck, H.Moosbrugger, L.Bernhart, W.Tronko, 1965,	S 56.--
Band 5	DIE MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE, VERSUCH EINER ZUSAMMEN-FASSENDEN DARSTELLUNG, von F.Heigl, 1965,	S 140.--
Band 6	VORTRAGSREIHE ABFALLVERARBEITUNG, 18.NOVEMBER 1965, von F.Schönbeck, H.Sontheimer, A.Kern, H.Rasworschegg, J.Wotschke, J.Brodbeck, R.Spinola, K.Stundl, W.Tronko, 1966,	S 112.--
Band 7	SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN IM GRUNDWASSERFELD FRIESACH NÖRDLICH VON GRAZ, von H.Zetinigg, T.Puschnik, H.Novak, F.Weber, 1966,	S 140.--
Band 8	DER MÜRZVERBAND, von E.Fabiani, P.Bilek, H.Novak, E.Kauderer, F.Hartl, 1966,	S 140.--
Band 9	RAUMPLANUNG, FLÄCHENNUTZUNGSPLÄNE DER GEMEINDEN, von J.Krainer, H.Wengert, K.Eberl, F.Plankensteiner, G.Gorbach, H.Egger, H.Hoffmann, K.Freisitzer, W.Tronko, H.Bullmann, I.E.Holub, 1966,	S 140.--
Band 10	SAMMLUNG, BESEITIGUNG UND VERARBEITUNG DER FESTEN SIEDLUNGSABFÄLLE, von H.Erhard, 1967,	S 66.--
Band 11	SIEDLUNGSKUNDLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFTLICHE RAHMENPLANUNG IM FLUSSGEBIET DER MÜRZ, von H.Wengert, E.Hillbrand, K.Freisitzer, 1967,	S 131.--
Band 12	HYDROLOGIE DES MURTALES, von N.Anderle, 1969,	S 131.--
Band 13	10 JAHRE GEWÄSSERGÜTEAUFSICHT IN DER STEIERMARK 1959 - 1969, von L.Bernhart, H.Sölkner, H.Ertl, W.Popp, M.Noë, 1969,	S 112.--

- Band 14    GEWÄSSERSCHUTZMASSNAHMEN IN SCHWERPUNKTSGEBIETEN  
          STEIERMARKS, 1970 (DAS VORLÄUFIGE SCHWERPUNKTSPRO-  
          GRAMM 1964 UND DAS SCHWERPUNKTSPROGRAMM 1966),  
          von F.Schönbeck, L.Bernhart, E.Gangl, H.Ertl,            S 66.--
- Band 15    INDUSTRIELLER ABWASSERKATASTER STEIERMARKS,  
          von L.Bernhart, 1970,                                    S 187.--
- Band 16/  
17        TÄTIGKEITEN UND ORGANISATION DES WIRTSCHAFTSHOFES  
          DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ, ABFALLBEHANDLUNG IN GRAZ:  
          LITERATURANGABEN ZUM THEMA "ABFALLBEHANDLUNG",  
          von A.Wasle,                                                S 112.--
- Band 18    ABWASSERFRAGEN AUS BERGBAU UND EISENHÜTTE,  
          von L.Bernhart, K.Stundl, A.Wutschel, 1971,            S 66.--
- Band 19    MASSNAHMEN ZUR LÖSUNG DER ABWASSERFRAGEN IN ZELL-  
          STOFFFABRIKEN, von B.Walzel-Wiesentreu, W.Schönauer,  
          1971,                                                        S 150.--
- Band 20    BODENBEDECKUNG UND TERRASSEN DES MURTALES ZWISCHEN  
          WILDON UND DER STAATSGRENZE, von E.Fabiani,  
          M.Eisenhut, mit Kartenbeilagen, 1971,                S 168.--
- Band 21    UNTERSUCHUNGEN AN ARTESISCHEN WÄSSERN IN DER  
          NÖRDLICHEN OSTSTEIERMARK, von L.Bernhart, J.Zötl,  
          H.Zetinigg, 1972,                                        S 112.--
- Band 22    GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM NORDÖSTLICHEN  
          GRAZERFELD, von L.Bernhart, H.Zetinigg, J.Novak,  
          W.Popp, 1973,                                               S 90.--
- Band 23    GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM NORDÖSTLICHEN  
          LEIBNITZERFELD, von L.Bernhart, E.Fabiani, M.Eisenhut,  
          F.Weber, E.P.Nemecek, T.Glanz, W.Wessiak, H.Ertl,  
          H.Schwinghammer, 1973,                                   S 250.--
- Band 24    GRUNDWASSERVERSORGUNG AUS DEM LEIBNITZERFELD,  
          von L.Bernhart, 1973,                                    S 150.--
- Band 25    WÄRMEBELASTUNG STEIRISCHER WÄSSER, von L.Bernhart,  
          H.Niederl, J.Fuchs, H.Schlatte, H.Salinger, 1973,    S 150.--
- Band 26    DIE ARTESISCHEN BRUNNEN DER SÜDWESTSTEIERMARK,  
          von H.Zetinigg, 1973,                                    S 120.--
- Band 27    DIE BEWEGUNG VON MINERALÖLEN IN BODEN UND GRUND-  
          WASSER, von L.Bernhart, 1973,                            S 150.--
- Band 28    KENNZAHLEN FÜR DEN ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN VER-  
          GLEICH THERMISCHER ABLAUGEVERWERTUNGSANLAGEN,  
          von L.Bernhart, D.Radner, H.Ariedter, 1974,            S 100.--
- Band 29    GENERALPLAN DER WASSERVERSORGUNG STEIERMARKS,  
          ENTWURFSSTAND 1973, von L.Bernhart, E.Fabiani,  
          E.Kauderer, H.Zetinigg, J.Zötl, 1974,                S 400.--

- Band 30 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 1. TEIL, EINFÜHRUNG HYDROGEOLOGIE, KLIMATOLOGIE, von L.Bernhart, J.Zötl, H.Zojer, H.Otto, 1975, S 120.--
- Band 31 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 2. TEIL, GEOLOGIE, von L.Bernhart, P.Beck-Mannagetta, A.Alker, 1975, S 120.--
- Band 32 BEITRÄGE ZUR WASSERWIRTSCHAFTLICHEN RAHMENPLANUNG IN DER STEIERMARK, von L.Bernhart, 1975, S 200.--
- Band 33 HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN BOHRUNGEN UND BRUNNEN IN DER OSTSTEIERMARK, von H.Janschek, I.Küpper, H.Polesny, H.Zetinigg, 1975, S 150.--
- Band 34 DAS GRUNDWASSERVORKOMMEN IM MURTAL BEI ST.STEFAN O.L. UND KRAUBATH, von I.Arbeiter, H.Ertl, P.Hacker, H.Janschek, H.Krainer, J.Novak, D.Rank, F.Weber, H.Zetinigg, 1976, S 200.--
- Band 35 WASSERVERSORGUNG FÜR DAS UMLAND VON GRAZ. ZUR GRÜNDUNG DES WASSERVERBANDES UMLAND-GRAZ, von L.Bernhart, K.Pirkner, 1977, S 180.--
- Band 36 GRUNDWASSERSCHONGEBIETE, von W.Kasper, H.Zetinigg, 1977, S 150.--
- Band 37 VORBEREITUNG EINER ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIERMARK, von L.Bernhart, 1978, S 140.--
- Band 38 ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIERMARK, ENTWICKLUNG EINES KONZEPTES, von L.Bernhart, 1978, S 200.--
- Band 39 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN MURTAL, von E.Fabiani, H.Krainer, H.Ertl, W.Wessiak, 1978, S 250.--
- Band 40 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 3. TEIL, DIE GRUNDWASSERFÜHRUNG IM TALE DER LASSNITZ, SULM UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H.Feßler, 1978, S 80.--
- Band 41 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 4. TEIL, GRUNDWASSERERSCHLIESSUNGEN IM TAL DER LASSNITZ, SULM UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H.Zetinigg, 1978, S 100.--
- Band 42 ZUR GEOLOGIE IM RAUM EISENERZ-RADMER UND ZU IHREM EINFLUSS AUF DIE HYDROCHEMIE DER DORTIGEN GRUNDWÄSSER, von U.Mager, 1979, S 120.--

- Band 43 DIE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE IM KAINACHTAL  
(ST. JOHANN O.H. - WEITENDORF), von M. Eisenhut,  
J. Novak, J. Zojer, H. Krainer, H. Ertl, H. Zetinigg,  
1979, S 150.--
- Band 44 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB-  
GEBIET, TEIL I. NATURRÄUMLICHE GRUNDLAGEN: GEOLOGIE -  
MORPHOLOGIE - KLIMATOLOGIE, von E. Fabiani,  
V. Weißensteiner, H. Wakonigg, 1980, S 180.--
- Band 45 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB-  
GEBIET, TEIL II. DIE UNTERSUCHUNGEN: GESCHICHTE -  
DURCHFÜHRUNG - METHODIK, von E. Fabiani, 1980, S 80.--
- Band 46 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB-  
GEBIET, TEIL III, GEOPHYSIK - ISOTOPENUNTERSUCHUNG -  
HYDROCHEMIE, von Ch. Schmid, J. Zojer, H. Krainer,  
H. Ertl, R. Ott, 1980, S 200.--
- Band 47 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNG IM HOCHSCHWAB-  
GEBIET, TEIL IV. DIE UNTERSUCHUNGEN IM TRAGÖSSTAL,  
von E. Fabiani, 1980, S 200.--
- Band 48 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB-  
GEBIET, TEIL V. UNTERSUCHUNGEN IN DEN SÜDLICHEN  
HOCHSCHWABTÄLERN (ILGENER TAL BIS SEEGRABEN),  
von E. Fabiani, 1980, S 280.--
- Band 49 UNTERSUCHUNG ÜBER DIE MÖGLICHKEIT ZUR ENTNAHME  
VON GRUNDWASSER IM SÜDLICHEN HOCHSCHWABGEBIET UND  
DEREN BEWIRTSCHAFTUNG, von Ch. Meidl, J. Novak,  
W. Wessiak, 1980, S 150.--
- Band 50 KONZEPT EINER ZENTRALWASSERVERSORGUNG  
HOCHSCHWAB - SÜD, von L. Bernhart, 1980, S 200.--
- Band 51 REGIONALE ABWASSERANLAGEN IN DER STEIERMARK,  
BEMÜHUNGEN UND ERGEBNISSE, von L. Bernhart, P. Bilek,  
E. Kauderer, H. Senekowitsch, O. Thaller, 1980, S 300.--
- Band 52 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM MURTAL ZWISCHEN  
KNITTELFELD UND ZELTWEG, von I. Arbeiter, H. Krainer,  
H. Ertl, H. Zetinigg, 1980, S 100.--
- Band 53 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN SAGGAUTAL,  
von I. Arbeiter, H. Krainer, H. Zetinigg, 1980, S 100.--
- Band 54 "10 JAHRE WASSERVERBAND HOCHSCHWAB - SÜD",  
von L. Bernhart, W. Küssel, J. Novak, R. Ott,  
F. Schönbeck, 1981, S 120.--
- Band 55 DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKBAUES VOM OBERVOGAU  
AUF DAS GRUNDWASSER, von H. Feßler, 1981, S 200.--

Band 56	FESTVERANSTALTUNG "10 JAHRE WASSERVERBAND HOCH-SCHWAB - SÜD 1971 - 1981", von L.Bernhart, R.Burgstaller, M.Rupprecht, H.Sölkner, G.Bujatti, E.Wurzer, A.Zdarsky, J.Krainer, V.Ahrer, 1981,	S 100.--
Band 57	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L.Bernhart, E.Hübl, E.Schubert, E.Fabiani, H.Zetinigg, H.Zojer, E.P.Nemecek, E.P.Kauch, 1981,	S 200.--
Band 58	WASSERBEDARF DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L.Bernhart, 1982,	S 200.--
Band 59	KOSTENAUFTEILUNGSSCHLÜSSEL FÜR ABWASSERVERBÄNDE, von P.Bilek, E.Kauderer, 1982,	S 200.--
Band 60	DIE QUELLEN DES SCHÖCKELGEBIETES, von H.Zetinigg, W.Grießler, T.Untersweg, V.Weißensteiner, Ch.Meidl, 1982,	S 200.--
Band 61	BEDARFSERMITTLUNG FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSERVERBUND, von Ch.Meidl, Ch.Kaiser, mit einer Einführung von L.Bernhart, 1983,	S 200.--
Band 62	DIE MESSUNGEN DER FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DES GRUNDWASSERS IM MUR- UND MÜRZTAL, von H.Zetinigg, 1983,	S 100.--
Band 63	GRUNDLAGEN FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSERVERBUND - LEITUNGSFÜHRUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von J.Novak, Ch.Kaiser, 1983,	S 200.--
Band 64	STEIRISCHES WASSERVERBUNDMODELL 1982, von J.Novak, 1983,	S 200.--
Band 65	DER KARST AM OSTUFER DER WEIZKLAMM, von G.Fuchs, 1983,	S 150.--
Band 66	HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DEN NÖRDLICHEN GESÄUSEBERGEN, von W.Kollmann, 1983,	S 250.--
Band 67	DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKBAUES VON SPIELFELD AUF DAS GRUNDWASSER, von H.Feßler, 1983	S 250.--

In diesen Preisen ist die 10 %ige Mehrwertsteuer nicht enthalten.

Soweit lagernd, sind sämtliche Berichtsbände bei der Steiermärkischen Landesdruckerei, Hofgasse 15, A-8010 Graz, erhältlich.

