



Forschungsgesellschaft Joanneum

GRAZ-Burg



E N D E R I C H T

über

"Untersuchung der geothermischen Verhältnisse im Verwaltungsbezirk
Radjersburg"

Graz, 1982-03-01

Dr. H.P. LEDITZKY, Projektleiter

T. HARM, Sachbearbeiter

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung

1. Geologische Übersicht

1.1. Allgemeines

1.2. Der vortertiäre Beckenuntergrund, seine lithologische Ausbildung und Morphologie

1.3. Die tertiäre Beckenfüllung

1.3.1. Oligozän

1.3.2. Karpaten

1.3.3. Badenien

1.3.4. Sarmatien

1.3.5. Pannonien

1.3.6. Der jungtertiäre Vulkanismus

2. Hydrochemie

2.1. Das Kationenverhältnis $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Ca}^{++} : \text{Mg}^{++}$

2.2. Das Verhältnis $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Cl}^-$

2.3. Der Gehalt an freier Kohlensäure

2.4. Interpretation der Ergebnisse der chemischen Analysen

2.5. Der Zusammenhang zwischen freiem CO_2 , tektonischen Bruchzonen und jungen Vulkaniten

3. Die geothermischen Verhältnisse

3.1. Temperaturmessungen an artesischen Brunnen

3.1.1. Aussagekraft der Ausflusstemperaturen artesischer Wasser

3.1.2. T-Log an artesischen Brunnen

3.1.3. Beschreibung der zur Ermittlung der geothermischen Tiefenstufe herangezogenen T-Logs

3.1.4. Berechnung der geothermischen Tiefenstufe anhand der Basis-temperaturen dieser artesischen Brunnen

3.1.5. Nicht in die Berechnung einbezogene Meßwerte

3.2. Die Berechnung der geothermischen Tiefenstufe aus Messungen an Temperatursonden mit stehender Wassersäule

3.3. Das Temperaturlog der Tiefbohrung Radkersburg 2

3.4. Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse der Temperaturmessungen

3.5. Die Anwendung von chemischen Geothermometern für die
Berechnung von Primärtemperaturen im Untergrund (J. S. GOLDSCHUKTER)

4. Die Therme Radkersburg

4.1. Allgemeines

4.2. Zur Genese des Thermalwassers aufgrund seiner chemischen Zusammen-
setzung

5. Ausblicke auf die Nutzung geothermaler Energie im Verwaltungsbezirk Radkersburg

Literatur

Kurzfassung

Vorbemerkung

Mit dem Vertrag vom 1980-11-28 (Begleitschreiben Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Aktenzahl 44.300/St/2-24/80) wurde die Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz-Burg, durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung vertraglich verpflichtet, eine "Untersuchung der geothermischen Verhältnisse im Verwaltungsbezirk Radkersburg" durchzuführen. Mit den Arbeiten wurde das Institut für Geothermie und Hydrogeologie am Forschungszentrum Graz betraut. Der Vertrag sieht die Erstellung eines Endberichtes vor, der hiermit vorgelegt wird. Ein Zwischenbericht über die laufenden Arbeiten wurde dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung Ende Juli 1981 übermittelt.

Für die Überlassung von Unterlagen sind wir der Geologischen Bundesanstalt (Dir. Prof. Dr. F. KONNER), der Stadtgemeinde Radkersburg (Bürgermeister A. HERLINI) und der Brunnenverwaltungsgesellschaft Deutsch Goritz, Kern & Co. OHG (KH B. SCHWALGER) zu Dank verpflichtet.

1. Geologische Übersicht

1.1. Allgemeines

Das oststeirische Tertiärbecken wird durch mehrere markante Grundgebirgsschwellen in eine ganze Reihe von Teiltrögen zerlegt. Der Verwaltungsbezirk Radkersburg selbst liegt im wesentlichen im Bereich des "Graser Beckens", das im Westen durch die Sausaltschwelle und im Osten durch die Südburgenländische Schwelle begrenzt wird. Diese Strukturelemente sind durch paläozoische Inselberge markiert, die aus der Tertiärbedeckung herausragen. Diese Schwellen trennen Teiltröge mit unterschiedlichen Absenkungstiefen voneinander ab.

Bezüglich des geologischen Aufbaues dieser Becken geben H. FLÜGEL & H. HERITICH (1968), K. KOLLMANN (1964, 1980) erschöpfende Auskunft. In diesem Kapitel wird daher die Geologie nur soweit behandelt, als sie für das Verständnis der durchgeführten Untersuchungen von Bedeutung ist.

Im Verwaltungsbezirk Radkersburg selbst wurde eine größere Anzahl von zumeist Erdöl erkundungsbohrungen niedergebracht, so daß der Aufbau der tertiären Beckenfüllung sowie die Tiefenlage des vortertiären Grundgebirges und seine lithologische Ausbildung in groben Zügen bekannt sind. Tab. 1 zeigt eine Übersicht der vorhandenen Tiefbohrungen (Lage s. Beil. 1).

Tab. 1: Die Tiefbohrungen im Bezirk Radkersburg

	abgeteuft von	Endteufe (m)	Mesozoikum (m)	Paläozoikum (m)	Kristallin (m)
St. Peter 1	OMV 1978	992	-	833 - 992	-
Wiersdorf 1	OMV 1978	1942	-	-	1792 - 1942
Ichlm 1	OMV 1978	1818	-	1698 - 1795	1795 - 1818
St. Nikola 1	OMV 1978	1273	-	1222 - 1273	
*Radochen 1	OMV 1981	997	-	ab ca. 350 m	erreicht
Perbersdorf 1	van SICKLE 1953	1477	-	1470 - 1477	
Radkersburg 1	Stadtgemein- de Radkersbg. 1977	1930	1778 - 1885	1685 - 1930	
Mureck 1	WINTERSHALL 1942	1188	im Karpat eingestellt		

*Über die TB Radochen liegen noch keine schriftlichen Angaben vor.

1.2. Der vortertiäre Beckenuntergrund, seine lithologische Ausbildung und Morphologie

Aufgrund der Ergebnisse der Tiefbohrertätigkeit läßt sich der geologische Aufbau des Untersuchungsgebietes punktförmig erfassen. Flächenhafte Untersuchungen, wie sie die Geophysik bietet, wurden in den letzten Jahren von der Erdöl-industrie vermutlich weitreichend durchgeführt; diese wichtigen Unterlagen standen allerdings für die Durchführung dieses Projektes nicht zur Verfügung.

Für die Interpretation der tektonischen Verhältnisse standen somit nur ältere Untersuchungen zur Verfügung, von denen als wichtigste die geomagnetischen Messungen von K. FORBERGER & K. METZ (1939) und einige Hinweise aus dem Untersuchungsprogramm der Fa. H.K. von SICHEL (1952-1955) zur Verfügung standen. Wie die später abgetauften Tiefbohrungen aber zeigen, sind die eingangs erwähnten Messungen mit einigen Unsicherheiten behaftet, auch die Korrelation der Formationsgrenzen zwischen diesen Tiefbohrungen ist ohne zusammenhängende neuere geophysikalische Untersuchungen problematisch.

Aufgrund der geomagnetischen Messungen (K. FORBERGER & K. METZ, 1939) kann angenommen werden, daß das Grundgebirge etwa entlang der SW-NE verlaufenden Linie Pichla b. Mureck (Tiefbohrung) - Dirnbach steil gegen NW ansteigt. In dieser Hochzone liegt die Tiefbohrung St. Peter 1, die das Grundgebirge bereits in 833 m Tiefe erreicht. Die Tiefbohrung Wiersdorf 1, die den kristallinen Untergrund in 1391 m Tiefe aufschließt, liegt bereits am Nordwestabfall dieser Schwelle.

Südlich und südöstlich dieser Linie sind die größten Beckentiefen mit Sedimentmächtigkeiten bis zu ca. 2000 m vorhanden.

Dieser Trog wird zwischen Weixelbaum und Radobchen durch die Südburgenländische Schwelle in zwei Teilbecken zerlegt. Aufgrund der Untersuchungen der Fa. H.K. von SICHEL in den Jahren 1952-1955 kann angenommen werden, daß sich die Südburgenländische Schwelle im Bereich der Mur knapp westlich von Weixelbaum bis 600 - 700 m unter die Geländeoberkante erhebt. Sie steigt gegen NE allmählich an und taucht im Raume von St. Anna am Aigen als paläozoische Grundgebirgsinsel aus der Tertiärbedeckung auf. Die Tiefbohrung Radobchen 1 trifft paläozoische Phyllite bereits in einer Tiefe von ca. 150 m an. Das östlich der Südburgenländischen Schwelle gelegene Teilbecken erreicht etwa 2 km nördlich von Radkersburg mit Tertiärmächtigkeiten von knapp über 2100 m die größten Beckentiefen.

Die Bohrung Muraka Sobota, die 1942 auf jugoslawischem Gebiet niedergebracht wurde, befindet sich ca. 15 km östlich von Radkersburg und erreicht

den Gneis des Untergrundes bei einer Tiefe von 790 m. Sie liegt somit auf der Gegenflanke der Radkersburger Senke.

Bei einer großräumigen Betrachtung aller in der Oststeiermark abgeteufte Tiefbohrungen zeichnet sich ab, daß die Verbreitung paläozoischer Gesteine im Beckenuntergrund überraschend groß ist, und das Gesteine, wie wir sie aus dem Grazer Paläozoikum kennen, sich ohne größere Unterbrechung bis über die Südburgenländische Schwelle nach Osten fortsetzen. Während allerdings nördlich des Untersuchungsgebietes der vortertiäre Beckenuntergrund zumindest teilweise aus karbonatischen Gesteinen aufgebaut wird, herrscht im Süden eine phyllitische Fazies vor. Dies wurde im Bezirk Radkersburg durch die Aufschlußbohrungen Perbersdorf 1, St. Peter 1, Pichla 1, St. Mikolai 1 und Radochen 1 nachgewiesen (s. Tab. 1). Die Mächtigkeit dieser Serie ist starken Schwankungen unterworfen.

Während in der Bohrung Wiersdorf 1 unter dem Tertliär bereits Granatglimmerschiefer angefahren wurden, durchörterte die Bohrung Radochen 1 ca. 650 m paläozoische Phyllite ehe sie den kristallinen Untergrund in 997 m antraf.

Mesozoische Gesteine konnten bisher nur in der Thermalwasserbohrung Radkersburg 2 in Form von Triasdolomiten und Werfener Schichten (nach K. KOLLMANN, 1960) zwischen 1778 und 1885 m über paläozoischen Phylliten angefahren werden.

Es könnte sich bei diesen Dolomiten um die Fortsetzung des z.T. über 100 km breiten mesozoischen Ruges handeln, der die ungarische Tiefebene mit SW-NE-Streichen im Beckenuntergrund durchzieht (V. DANE & P.J. IRÁNYITÁSÁVAL, 1967) und der nördlich des Platteneises auf breiter Front aufgeschlossen ist. Kartennäßig ist dieser auf ungarischer Seite bis an die jugoslawische Staatsgrenze erfüllt. Eine Verbindung zu der in Radkersburg erbohrten Trias läßt sich durch die Ergebnisse einer Tiefbohrung in Jugoslawien herstellen, die altergleiche Dolomite im Beckenuntergrund antraf (freundliche, mündliche Mitteilung von A. KRÖLL, 1982).

An der Seuzalschwelle und entlang der Südburgenländischen Schwelle tritt der paläozoische Untergrund, ebenfalls in phyllitischer Fazies, stellenweise aus der tertliären Lockergesteinsüberlagerung hervor. Er bildet im Untersuchungsgebiet die Grundgebirgsinsel des Stadlberges bei St. Anna am Aigen (s. Beil. 1).

1.3. Die tertiäre Beckenfüllung

Die Schichtfolge der tertiären Beckenfüllung reicht vom Ottnangien bis in das Pannोनien, wobei sich zwei tektonische Stockwerke unterscheiden. Das tiefere umfaßt die Sedimente des Ottnangien und Karpatien, die während der Steirischen Gebirgsbildungsphase verstellt und gefaltet wurden. Gleichzeitig kam es zu einer teilweisen Abtragung der karpatischen Sedimentabfolge, so daß das Badenien mit einer flachen Winkeldiskordanz über das entstandene Relief transgrediert.

Fig. 1 zeigt die schematische Darstellung der tertiären Schichtabfolge nach K. KOLLMANN (1980).

1.3.1. Ottnangien

Diese ältesten Schichtglieder sind in den tieferen Muldenbereichen durch Rotliegendes, bituminöse Mergel und Mergelsandsteine vertreten. Sie wurden durchwegs unter Festlandbedingungen im Süßwasser abgelagert. Darüber folgt eine konglomeratreiche Serie in Wechselagerung mit Tonmergel- und Mergelsteinen.

1.3.2. Karpatien

In seinen liegendanteilen treten noch reichlich Konglomerate auf, darüber folgen in tonigen Ablagerungen erstmals marine Fossilien. In diese Zeit fällt auch der Beginn der miozänen Vulkantätigkeit. Beide Ereignisse können mit den tektonischen Krustenbewegungen der einsetzenden Steirischen Gebirgsbildungsphase in Zusammenhang gebracht werden.

1.3.3. Badenien

Die am Westrand des Untersuchungsgebietes noch relativ häufigen marinen Lithothamnienkalke weilen beckenwärts (gegen Osten) aus und gehen in Tonmergel und sandige Tonmergel mit Sandsteinschieferlagen über. Im unteren Badenien klingt auch der miozäne Vulkanismus aus.

1.3.4. Sarmation

Petrographisch wird das Sarmation aus stark sandigen Tonmergeln und Tonen aufgebaut, in die zahlreiche Sand- und Kieselagen eingebettet sind. Sie bilden zahlreiche Aquifere, aus denen die meisten vorhandenen artesischen Brunnen ihr Wasser erschöpfen.

PLEISTOZÄN	QUARTÄR		Fluviatilschotter und Alluvionen	0-100m
PÜOZÄN	DAZ		Schotter, Basalt und Tuffe	0-800m
	PANNON	Ober-		0-8
		Mittel-	Tone, Sande, Schotter, Lignit	0-2
		Unter-	Kärntnerer Kalk Schotter - Kärntnerer K. Kopfschotter K. Tonmergel, Lignit	0-500m
MIOZÄN	SARMAT	Ober- und Mittel-	Ölmacher Kalksandstein Tonmergel, Sande, Braunkohle "Kärntnerischer Schotter"	0-750m
		Unter-	Tonmergel, Sande, Schotter, Braunkohle	0-300m
	BADEN	Ober-	Tonmergel, Sandsteine	0-150m
		Mittel-	Kohlige Lagen, Tonmergel, Nulläckerkalk, Sandsteine	0-600m
		Unter-	Nulläckerkalk, Tonmergel, Sandsteine Speiskonglomerat Vulkanite, Löss und Tuffe	0-150m
	KARPAT "Ober-Helvet"		Konglomerate, Sandsteine, Vulkanite, Löss und Tuffe Tonmergel und Sandsteine "Tonmergelgroppe"	0-250m
			Konglomeratschotter Konglomerate, Sandsteine, Tonmergel, Basalt Löss und Tuffe Basalt 2	Konglomeratschotter Groppe 0-700m Vulkanite ges. 0-800m
	OTTINANG Helvet s. str.		Mergelsandsteine, Tonmergel, Sandsteine	0-150m
			Brummecker Mergel, Glimmerphie	0-65m
			Spekchen, kristalline Tonsteine, Glimmerphie	0-60m
PALÄOZOIKUM	DEVON	Unter- bis Mittel-	Colomite und Bänderkalk	0-145m
	SHOOV. CUMM.	Unter Devon- Op. Ordovicium	Tonschiefer und Phyllite Tuffschiefer	0-275m
KRISTALLIN, METAMORPHER UNTERGRUND		M + W + M +	Granitgneis, Amphibolit, Marmor	?

Fig. 1: Schematische Darstellung der tertiären Schichtabfolge im Oststeirischen Becken (aus R. KOLLMANN, 1980).

Lokal treten auch Kalke und Kalksandsteine sowie Lignitflözse auf. Der Fossilgehalt dieser Sedimente spricht bereits für brackische Ablagerungsbedingungen.

1.3.3. Pannonien

Diese Formation ist durch Tonmergel, Sande und Schotter in mehrfacher Wechsellagerung charakterisiert.

Wie die geologische Karte (Beil. 1) zeigt, ist das Badenien auf das westliche Untersuchungsgebiet beschränkt. Gegen Osten schließen die karpatischen Sedimente an. Pannonien tritt nur kleinräumig um Radkersburg und im Bereich der südburgenländischen Schwelle auf. Karpatien und Ottományen sind durchwegs von jüngeren Lockergesteinen überlagert.

1.3.6. Der jungtertiäre Vulkanismus

Im Untersuchungsgebiet sind jungtertiäre Vulkanite sowohl obertägig aufgeschlossen, als auch unter einer tertiären Lockergesteinsabdeckung bekannt. Sie wurden in zwei zeitlich voneinander getrennten Phasen gefördert.

Miozäne Phase

Altarenmäßig lassen sich ihre Gesteine in das Helvetien bis Unterbadenen einzeilen. Im Untersuchungsgebiet ist dieser miozäne Vulkanismus obertägig nicht aufgeschlossen. Er tritt erst im Raum Gleichenberg anstehend als Trachyandesit, Trachyt und Quarztrachyt auf. Es sind somit saure Vulkanite, die durchwegs eine starke Kaliumbetonung aufweisen.

Aus geomagnetischen Messungen (M. TOPERCZER, 1947) kann geschlossen werden, daß diese sauren Vulkanite unter der Tertiärbedeckung eine ganz beträchtliche Ausdehnung haben müssen. Der Gleichenberger Kogel stellt demnach nur den Gipfelbereich eines gewaltigen Schildvulkanes mit einem Durchmesser von ca. 15 - 20 km dar.

Ein weiterer, völlig von jüngeren Sedimenten überlagelter Vulkan liegt im Westen des Untersuchungsgebietes mit dem Zentrum bei Landorf. Die Verbreitung dieses auch geomagnetisch erfaßten Schildvulkanes konnte auch durch die abgetauften Tiefbohrungen nachgewiesen werden. Petrographische Untersuchungen von Vulkaniten aus den Erdölprospektionsbohrungen St. Peter 1, Wieradorf 1 und St. Nikolai 1 (H. HERITICH, 1979) zeigen, daß es sich bei diesen Gesteinen ebenfalls um Trachyte und verwandte Gesteine handelt, die zum Teil hydrothermal bereits stark umgewandelt sein können.

Daß mikrine Vulkanite auch noch südlich des Landorfer Vulkangebietes (Abgrenzung nach K. KOLLMANN, 1964; s. Beil. 1) vorkommen, zeigen A. HAUSER & J. KAPAUNEK (1953), die solche aus Bohrungen zwischen Mureck und Retznei (im Westen, außerhalb des Arbeitsgebietes) erwähnen. Die Autoren beziehen sich hierbei vermutlich auf die Maschinenbohrungen der Fa. Van SICKLE (1952 - 1955, vgl. Kap. 2.4.).

Pliozäne Phase

Die im Arbeitsgebiet zwischen Klöch und Straden aufgeschlossenen vulkanischen Gesteine gehören durchwegs der pliozänen Phase an. Es sind Schloten und Spaltenfüllungen von geringen Durchmessern (pipes), die aus diesem Grund auch wahrscheinlich nie in Tiefbohrungen angefahren werden konnten, obwohl sie vermutlich stets in engem Kontakt mit der älteren Eruptionsphase stehen.

Petrographisch handelt es sich um Basaltgesteine wie Nephelinbasanite und Nephelinite mit starker Natriumbetonung.

2. Hydrochemie

Im Zuge einer Neuaufnahme der artesischen Brunnen im Verwaltungsbezirk Radkersburg wurden von 104 ausgewählten Wässern Proben entnommen und im Labor die wichtigsten chemischen Parameter (Kationen: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Li^+ , Sr^{++} ; Anionen: HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{--} sowie SiO_2) bestimmt.

Anlässlich einer 1976 von der Steiermärkischen Landesregierung durchgeführten Artessaufnahme erfolgte auch eine Bestimmung der freien Kohlensäure. Diese Werte wurden nach einer Stichprobenkontrolle übernommen und komplettiert.

Die Untersuchungen wurden im Hinblick auf folgende Problemstellungen durchgeführt:

1. zur Überprüfung der Möglichkeit für die Berechnung von chemischen Geothermometern,
2. um weitreichendere Erkenntnisse über die geologischen Verhältnisse zu gewinnen,
3. um etwaige Rückschlüsse auf das Einzugsgebiet der Thermen Radkersburg ziehen zu können.

Die ermittelten chemischen Parameter (in mg/l) sind in Tab. 2 zusammengestellt; die Brunnennummern beziehen sich auf Inventarnummern der Artesierkartei des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung (Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung) und der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz.

Weiters wurden auch im Untersuchungsgebiet vorhandene Mineralwässer erfasst (Tab. 3). Diese Analysenwerte beziehen sich auf Werksangaben bzw. auf W. CARLE (1975).

2.1. Das Kationenverhältnis $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Ca}^{++} : \text{Mg}^{++}$

Vorerst sei bemerkt, daß K^+ in Bezug auf die Verhältnisse dieser vier Kationen durchwegs weniger als 1 mval/l beträgt und somit die Summe $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ praktisch dem Na^+ -Gehalt gleichzusetzen ist. Aus der Darstellung der mval/l-Gehalte im Kationendreieck (Fig. 2) ergibt sich eine ganz auffallende Gruppierung.

1. Wasser mit ganz außergewöhnlich hohen Na^+ -Gehalten, bei denen dieser im Extremfall bis zu 98 mval/l betragen kann (Brunnen 759). In diese Gruppe gehört auch das Thermalwasser, das aus der Tiefbohrung Radkersburg 2 erschroter wird.
2. Wasser mit Natriumgehalten zwischen etwa 30 und 48 mval/l. Es könnte sich hierbei um Mischwässer der 1. Gruppe mit Wässern anderer Konzentrationsverhältnisse handeln, wobei sich im Kationendreieck eine Mischreihe abzeichnet. Das $\text{Ca}^{++} : \text{Mg}^{++}$ -Verhältnis ist zumist ausgeglichen, bemerkenswert erscheint aber, daß höhere Ca^{++} -Werte vorwiegend in westlichen Arbeitsbereich auftreten, erhöhte Mg^{++} -Werte hingegen auf den Osten beschränkt sind.

Die $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ -armen Wässer zeigen zwar ebenfalls Gruppenbildungen, doch sind hier teilweise Übergänge vorhanden, so daß in einzelnen Fällen eine Grenzziehung unsicher ist.

3. Wasser mit deutlich erhöhten $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ -Gehalten und durchwegs einem Überschuß von Ca^{++} gegenüber Mg^{++} .

1	1. 姓名: 张三	2. 性别: 男	3. 年龄: 25	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 广东省广州市	6. 学历: 本科	7. 专业: 计算机科学与技术	8. 毕业院校: 华南理工大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 良好	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
2	1. 姓名: 李四	2. 性别: 女	3. 年龄: 22	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 浙江省杭州市	6. 学历: 本科	7. 专业: 会计学	8. 毕业院校: 浙江大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 优秀	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
3	1. 姓名: 王五	2. 性别: 男	3. 年龄: 23	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 山东省济南市	6. 学历: 本科	7. 专业: 工商管理	8. 毕业院校: 山东大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 良好	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
4	1. 姓名: 赵六	2. 性别: 女	3. 年龄: 24	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 河南省郑州市	6. 学历: 本科	7. 专业: 法学	8. 毕业院校: 郑州大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 优秀	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
5	1. 姓名: 孙七	2. 性别: 男	3. 年龄: 21	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 四川省成都市	6. 学历: 本科	7. 专业: 软件工程	8. 毕业院校: 四川大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 良好	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
6	1. 姓名: 周八	2. 性别: 女	3. 年龄: 26	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 湖北省武汉市	6. 学历: 本科	7. 专业: 金融学	8. 毕业院校: 武汉大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 优秀	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
7	1. 姓名: 吴九	2. 性别: 男	3. 年龄: 27	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 湖南省长沙市	6. 学历: 本科	7. 专业: 市场营销	8. 毕业院校: 湖南大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 良好	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
8	1. 姓名: 郑十	2. 性别: 女	3. 年龄: 28	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 广东省深圳市	6. 学历: 本科	7. 专业: 人力资源管理	8. 毕业院校: 深圳大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 优秀	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
9	1. 姓名: 陈十一	2. 性别: 男	3. 年龄: 29	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 福建省福州市	6. 学历: 本科	7. 专业: 物流管理	8. 毕业院校: 福建师范大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 良好	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。
10	1. 姓名: 林十二	2. 性别: 女	3. 年龄: 30	4. 民族: 汉族	5. 籍贯: 江西省南昌市	6. 学历: 本科	7. 专业: 电子商务	8. 毕业院校: 江西师范大学	9. 毕业时间: 2020年6月	10. 毕业成绩: 优秀	11. 毕业评语: 该生在校期间表现优秀, 学习成绩优异, 具有较强的专业知识和实践能力, 能够独立完成各项任务, 具备良好的团队协作精神和沟通能力, 是一名全面发展的优秀毕业生。

Tab. 3: Hydrochemische Parameter von Mineralwässern im Untersuchungsgebiet (mg/l^{mg})

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁺⁺	CO ₂ frei
Sulzegg : Franz	691	142	58	46	3029	2	7	1509
Peterquelle	226	51	683	19	2326	227	1	2611
Longlife	263	196	111		2062	18		1870
Siegheldorfer	179	86	1156	116	3449	464	1	3295
Hof : Johannisbrunn	208	133	1048	45	3634	308	0	2022
Gleichenberg Emma	117	98	1294	32	2927	770	72	2120
Gleichenberg Konstantin	140	126	1853	43	4071	1190	57	2135
Gleichenberg Maria Theresia	141	126	1837	41	4029	1115	57	2065

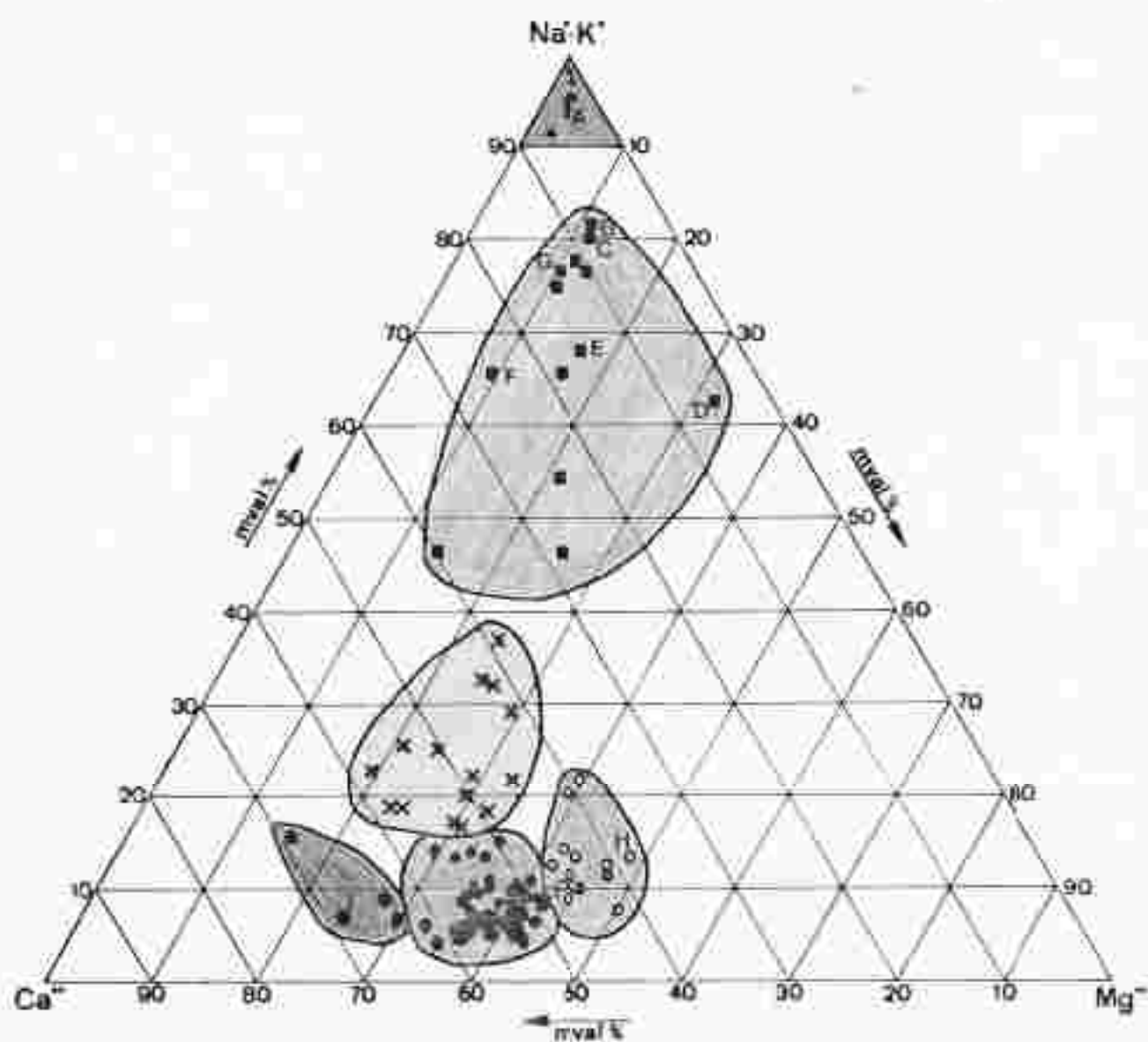


Fig. 2: Darstellung der untersuchten Wasser im Karbonatdreieck (siehe auch S. 11, 12).
 A = Heidebadkuranlage, B = Theresienquelle Gleichenberg, C = Emmaquelle Gleichenberg, D = Konstantinquelle Gleichenberg, E = Johannisbrunn Hof, F = Peterquelle Deutsch-Wositz, G = Sichelkopfer, H = Longlife Badkuranlage, I = Franzensquelle Sulzegg.

4. Wasser mit Na + K-Konzentrationen wie sie auch für die große Masse gespannter Grundwässer im steirischen Tertiarbecken charakteristisch sind, die aber deutlich in ihrem Ca : Mg-Verhältnis differieren.

4.a Wasser mit einem deutlichen Ca-Überschuß;

4.b Wasser mit einem ausgeglichenen Ca : Mg-Verhältnis bzw. einem leichten Mg-Überschuß;

4.c Diese Gruppe nimmt eine Stellung zwischen 4.a und 4.b ein und zeigt durchwegs ein Überwiegen von Ca gegenüber Mg.

Die Wässer innerhalb dieser ausgeschiedenen Gruppen sind in Beilage 2 lagernäßig erfasst.

2.2. Das Verhältnis $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Cl}^-$

Dieses Verhältnis soll aufzeigen, ob die genannten Kationen an das Cl^- oder an das HCO_3^- gebunden sind und somit Rückschlüsse auf die Genese der Wässer zulassen. Kleine Verhältniszahlen deuten einen Kontakt der Wässer mit Sedimenten marinen Ursprungs an. Es soll aber ausdrücklich betont werden, daß hier in keiner Weise "Formationswässer" marinen Ursprungs vorliegen, da hierfür die Gesamtionenkonzentrationen bedeutend zu gering sind.

In Fig. 1 sind aus Gründen einer günstigen Darstellungsweise die Logarithmen der absoluten Ionen-Gehalte dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß die Ionenverhältnisse $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Cl}^-$ eine ganz gewaltige Streuung im Bereich zwischen etwa 1410 : 1 bis nahe 1 : 1 aufweisen und wiederum deutliche Gruppenbildungen vorhanden sind.

Die zu Gruppen zusammengefaßten Wässer sind in ihrer lokalen Verbreitung in Beil. 3 dargestellt.

2.3. Der Gehalt an freier Kohlensäure

Die Gehalte an freier Kohlensäure wurden nur an Überflutgespannten und auch frei ausfließenden artesischen Wässern im Feld bestimmt. In die Darstellung in Beil. 4 wurden auch CO_2 -Werte von Wässern aufgenommen, von denen sonst keine chemischen Analysen durchgeführt wurden.

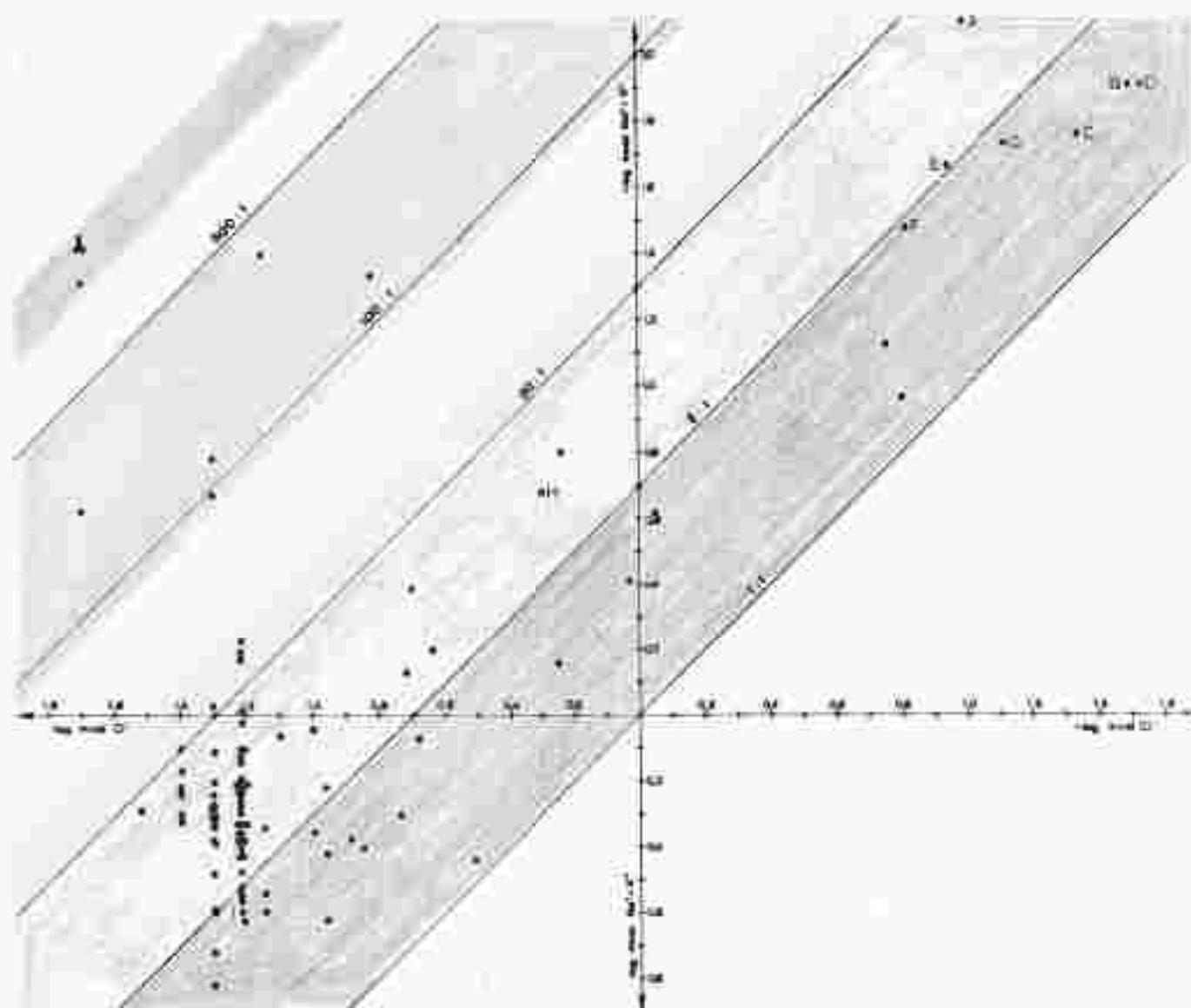


Fig. 1: Das Verhältnis $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Cl}^-$ der untersuchten Wässer (siehe auch Beilage 3).
 A = Therme Badkarzburg, B = Theresienquelle Gleichenberg, C = Emmaquelle
 Gleichenberg, D = Knesantinquelle Gleichenberg, E = Johannishaus Hof,
 F = Peterquelle Deutsch-Waritz, G = Sechsdorfer, H = Longille Badkarzburg,
 I = Emmaquelle Sulzegg.

2.4. Interpretation der Ergebnisse der chemischen Analysen

Aus der Darstellung der Rationenverhältnisse $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Ca}^{++} : \text{Mg}^{++}$ lassen sich die schon erwähnten Wasserprovinzen unterscheiden. Am auffallendsten ist hierbei die Gruppe von Wässern mit den auch absolut gesehen höchsten Na^+ -Gehalten. Sie treten ausschließlich in einer linearen N-E Erstreckung entlang des Poppendorfbachtales auf. Die restlichen in diesem Tal erfaßten Wässer zeichnen sich ebenfalls durch außergewöhnlich hohe Na^+ -Gehalte aus und liegen durchwegs im Bereich der schon erwähnten Mischreihe mit Ca^{++} und Mg^{++} -reicheren Wässern. Solche Mischwässer schließen auch gegen Osten an.

Das Na^+ dieser außergewöhnlich mineralisierten Wässer ist nicht an das Cl^- sondern fast ausschließlich an das HCO_3^- -Anion gebunden, was eine Herkunft dieser Wässer aus marinen Sedimenten ausschließt. Demnach kann das Einzugsgebiet dieser Wässer praktisch im Raume Gleichenberg - Straden - Klöck zu suchen sein.

Auf solche Zusammenhänge weist auch bereits A. SCHOUPE (1952) hin, der allerdings nur die Wässer des dem Vulkanismus näher gelegenen Sulzbachtales mit den Basalten in Zusammenhang bringt. In diesem Gebiet treten neben den miozänen kaliumbetonten Trachyten bis Trachyandesiten auch pliozäne Intrusionen von Natrium betonten Nephelinsyeniten, Nepheliniten und verwandten Gesteinen auf.

Ein hoher Na^+ -Gehalt in den erwähnten Wässern könnte somit in einer leichteren Verwitterbarkeit bzw. Zersetzbarkeit der Na -Feldspäte (Feldspatvertreter) in den pliozänen Vulkaniten gegenüber den kaliumreicheren Feldspäten in den miozänen Vulkaniten begründet sein.

Nun ist aber auffallend, daß die Wässer mit den höchsten Na^+ -Gehalten nicht in unmittelbarer Nähe der Vulkanite auftreten. Im diesen Vulkaniten näher gelegenen Sulzbachtal sind hingegen Wässer mit einer weniger charakteristischen chemischen Zusammensetzung aufgeschlossen. Sie spiegeln aufgrund ihres $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Cl}^-$ -Verhältnisses mehr oder weniger deutlich die marinen Eigenschaften des Speichergesteins wider.

Außerst bemerkenswert ist nur die Tatsache, daß generell die Gehalte an freiem CO_2 gegen den Vulkanismus hin zunehmen und somit ein zu erwartender gewisser Zusammenhang zwischen höchsten Na^+ -Konzentrationen und höchsten CO_2 -Werten nicht existiert. Zusammenfassend kann also festgehalten werden, daß sowohl extrem hohe Na^+ - als auch CO_2 -Gehalte auf den Vulkanismus zurückgeführt werden können, diese beiden Wassertypen aber trotzdem räumlich voneinander getrennt auftreten.

Eine Interpretation dieser Phänomene ist ohne weiterführende Detailuntersuchungen vorerst kaum möglich, da eine ganze Reihe von Faktoren nicht geklärt sind. Wichtig in diesem Zusammenhang wäre das Wissen um die Ausdehnung des begrabenen Vulkanismus und die Lage eventuell vorhandener Störungszonen. Weiters müßte geklärt werden, ob die Wässer des Sulzbach- und Poppendorfbachtals aus einem oder mehreren Aquiferen alimentiert werden. Von chemischer Seite kommt in diesem Zusammenhang auch der Ionenaustauschfähigkeit der Tonmineralien und der größeren Adsorptionsfähigkeit des Kaliums gegenüber dem Natrium eine entscheidende Bedeutung zu.

Bemerkenswert ist, daß im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes nochmals die beschriebenen Wassertypen mit stark erhöhten Na^+ - und CO_2 -Gehalten kleinräumig auftreten, ohne daß hier vulkanische Gesteine aufgeschlossen sind. Zweifellos müssen diese Wassertypen mit dem Vulkangebiet von Landorf bzw. dem zwischen Retznei und Mureck in Verbindung gebracht werden. Die Gesteine gehören dem miozänen Zyklus an, es handelt sich also in erster Linie um Trachyt und verwandte Gesteine. Ihre Tiefenlage ist allerdings nicht exakt erfäßbar. So wurden in der Tiefbohrung Mitterlabill (östlich von Wildon) von der Nöhl-AG in einer Tiefe zwischen 374 und 927 m mehrfach Quarzlatite angefahren (H. HERITSCH, J. BOESCHUTZKY & H. SCHUCHLENZ, 1965). Weitere miozäne Vulkanite wurden auch in den ÖMV-Bohrungen St. Nikolai I (ab 400 m), Wiersdorf I (ab 897 m) und St. Peter I (ab 781 m) in unterschiedlichen Verwitterungsstadien angetroffen (H. HERITSCH, 1979).

In der näher gelegenen Tiefbohrung Ferbersdorf I treten die ersten Andesite und Daxite erstmals bei 400 m Tiefe auf.

Aus dem zusammenfassenden Bericht über die Tiefbohrung Perbersdorf 1 (J. KAPOUNEK, 1954) geht hervor, daß im Bereich um die Tiefbohrung Perbersdorf 1 nicht ein großer, geschlossener vulkanischer Körper in der Tiefe vorhanden ist, sondern daß es sich bei diesen Gesteinen um eine Anzahl von Gängen handelt, wo das Magma insbesondere an Schwächestellen leicht aufsteigen könnte. Dieses Ergebnis stützt sich nicht nur auf die Tiefbohrungen, sondern auch auf eine größere Zahl von Flachbohrungen der Fa. R.K. van SICKLE, in denen Gabbro und Andesite häufig, z.T. bereits in Tiefen von 30 m angefahren wurden.

Da die Wasser aus den Brunnen Nr. 461 und 471 mit 528 bzw. 2.000 mg/l ganz beträchtliche freie CO_2 -Mengen aufweisen, ist also nicht der Schluss von A. SCHOUPPE (1952) zwingend, daß das CO_2 nur mit dem pliozänen Basaltvulkanismus in Zusammenhang zu bringen ist. Die räumliche Verteilung Na^+ -beeinflusster Wasser, bzw. solcher mit erhöhten CO_2 -Gehalten läßt vermuten, daß entlang des Saßbachtals entweder der Vulkanismus oberflächennäher liegt als in den Nachbargebieten, oder daß entlang einer N-S verlaufenden Störungszone Wasser aufsteigen (wofür allerdings aus den Temperaturmessungen kein Hinweis zu erhalten war).

Daß diese Wasser aber auch von einem marinen Einfluß geprägt sind, zeigt das Beispiel des Brunnens Nr. 471 ("Ribitz"), der sich durch außergewöhnlich hohe Br⁻ (2,2 mg/l) und J⁻-Gehalte (220 µg/l) auszeichnet (H. GAMERTH, G. KNAPP, H. KOLMEK, R. KRÄMER, 1973).

Aus der geographischen Verteilung der im Nationendreieck ausgeschiedenen Wasserprovinzen geht auch hervor, daß die Ca^{++} -reichen Wasser vorwiegend im westlichen Untersuchungsgebiet auftreten und die Mg^{++} -reichen Typen ausschließlich auf den Ostteil beschränkt sind.

Zweifelloos ist der erstgenannte Wassertyp mit Kalkgesteinen in Verbindung zu bringen. So tritt im Westen marines Badenien mit Leithakalken, Kalksandsteinen und Kalksandsteinen auf. Die Kalksteine sind örtlich aufgeschlossen, die karbonatreichen Lockersedimente durch die Untersuchungsbohrung der Fa. van SICKLE (im Raum Perbersdorf) belegt.

Da die kalkige Entwicklung bis in das Sarmatien reicht, können auch im Osten brackische-marine Sedimente auftreten. So wird z.B. das Mineralwasser der "Peterquelle" aus sarmatischen Kalksandsteinen erschotet (H. ZWIER, 1977).

Außerst bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß ausschließlich im Osten des Untersuchungsgebietes Wasser auftreten, die in Bezug auf die Erdalkalitionen Ca^{++} und Mg^{++} ein ausgeglichenes Ionenverhältnis aufweisen, bzw. sogar zu höheren Mg^{++} -Werten tendieren.

Allgemein sind Mg^{++} -reichere Wässer, wenn andere geochemische Ursachen ausgeschlossen werden können, mit Dolomiten in Zusammenhang zu bringen. Somit wäre das Einzugsgebiet dieser Wässer in Dolomiten oder in ihren Verwitterungsprodukten zu suchen. Eine Erklärung hierfür könnte in bereits abgetragenen dolomitischen Gesteinen der ehemals oberflächlich vorhandenen Südburgenländischen Schwelle zu suchen sein, deren Verwitterungsprodukte gegen Westen in das Becken verfrachtet wurden.

2.3. Der Zusammenhang zwischen freiem CO_2 , tektonischen Bruchzonen und jungen Vulkaniten

Nach K. FRUKE (1972) kann die Bildung von CO_2 -Gas auf drei Ursachen zurückgeführt werden:

- Gasphase des Magmas
- Kontaktmetamorphose in Kalkgesteinen durch junge Vulkane
- Thermische Tiefenmetamorphose von Kontakten.

Ungeachtet dieser genetischen Frage sind CO_2 -Vorkommen an bevorzugte Migrationswege gebunden. Hierbei bieten sich im Untersuchungsgebiet in erster Linie Störungs- und junge Vulkanite an, allerdings muß auch mit einem Aufstieg von CO_2 -Gas in verkarsteten Karbonatgesteinen gerechnet werden. Die geologische Situation im Raum Radkersburg läßt prinzipiell alle diese Möglichkeiten, ja sogar ein Zusammenspiel dieser miteinander zu. Eine weitere Erschwerung bei der Interpretation erhöhter CO_2 -Werte stellt aber auch das sicher vorhandene Problem einer möglichen Verfrachtung der freien Kohlensäure durch einen Aquifer dar.

Die räumliche Verteilung der Sauerwässer (Gehalt an freier Kohlensäure 1.000 mg/l) in Beil. 4 gibt auch sicher keinerlei Hinweise auf tektonische Strukturelemente im Untergrund.

Unter diesen Gesichtspunkten ist eine direkte Verknüpfung von Sauerwasser-austritten oder erhöhten CO_2 -reichen Wässern an Störungszonen von vornherein als problematisch anzusehen. Dies gilt auch für die Bindung hoher CO_2 -Gehalte an Kreuzungspunkte zweier Störungssysteme.

Bei der Betrachtung der räumlichen Verteilung der Wässer mit erhöhten CO_2 -Gehalten (Beil. 4) ist auffallend, daß einigermaßen deutlich ausgeprägte Maxima entlang des Sulzbachtales und Saßbachtales auftreten. Die jeweils N-S gerichtete Anordnung dieser Wässer kann natürlich Hinweise auf eine Störungszone geben, wie sie zum Beispiel A. SCHRUPPE (1932) für das Sulzbachtal annimmt. Andererseits darf aber nicht vergessen werden, daß sich die artesischen Brunnen natürlich in den besiedelten Tallogen befinden, und sich dadurch eine nur scheinbar lineare Anordnung erhöhter CO_2 -Werte ergeben kann.

Beim Studium der Literatur über CO_2 - und Mineralwasservorkommen im Raum Radkersburg zeigt sich ganz deutlich das Bestreben der Autoren, durch eine geradlinige Verbindung der zu ihrer Zeit bekannten Vorkommen tektonische Schwächezonen zu konstruieren.

Durch das Auffinden neuer CO_2 - und Mineralwasservorkommen gerät diese Tektonik aber immer wieder ins Schwanken, da sich dadurch eine Vielzahl von Verbindungs- und Störungslinien (Störungszonen) anbietet. So schreibt z.B. A. WINKLER-HERMANN in einem Gutachten "Zur Beurteilung der Mineralquellen-Situation im Bereich Sigheldorf-Radkersburg" (Datum unbekannt): "Das Fehlen von Mineralquellen westlich des Stadtgebietes von Radkersburg, wie in jenem zwischen Radkersburg und Halbenrain bis über Weichselbaum hinaus, läßt annehmen, daß dort im Untergrund keine stärker mineralisierten Sauerlinge durch Bohrungen im allgemeinen anzutreffen sein werden";

und weiter: "In diesem Zusammenhang ist es wichtig, festzustellen, daß die seinerzeitigen Bohrungen bei Hedenitz und Deutsch-Goritz kein Mineralwasser ergeben haben."

In der Zwischenzeit wird aber gerade in diesem Raum (bei Deutsch-Goritz) das Mineralwasser der "Peterquelle" erschroten. Aufgrund des damaligen Kenntnisstandes nahm A. WINKLER-HERMAUEN NW- bis NN-verlaufende Bruchspalten an, an welchen hochmineralisierte Wässer aufsteigen. Es gelang ihm dadurch auch tatsächlich noch, die bekannten Sauerwässer entlang von Linien anzuordnen.

Vor allem die Aufnahme der artesischen Brunnen förderte aber im Bereich des Sulzbachtals und im Saßbachtal weitere CO_2 -Vorkommen aufzudecken. Diese neu gewonnenen Aufschlüsse lassen sich nicht mehr in dieses Konzept einfügen.

In diesem Zusammenhang ist auch eine kurze Notiz von E. BRAUNMÜLLER v. A. KRÖLL (1980) bemerkenswert, die bezüglich des oststeirischen Tertärbeckens feststellen: "Zitat: Im Jahre 1951 begann die RAG mit einer geologischen Kartierung, deren Hauptergebnis es war, daß die von A. WINKLER-HERMAUEN in verschiedenen Publikationen oberflächlich ausstreichenden Brüche nicht existieren."

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß CO_2 -reiche Wässer Hinweise auf tektonische Bruchzonen bieten können, dieser Parameter allein aber für ihre Festlegung nicht ausreichend ist.

Durch die Prospektionsarbeiten der Fa. van Sickle (1952 - 1955) wurden am Westrand des Untersuchungsgebietes zwei Störungslinien erkannt:

Eine führt über Perbersdorf gegen Sulzegg, also eine annähernd N-S-verlaufende Bruchzone mit einer Sprunghöhe von ca. 40 m, die gegen Osten einfällt. Sie ist zweifellos mit dem Vorkommen des "Sulzegger Mineralwassers" in Zusammenhang zu bringen.

Ferner ist eine annähernd SSE-NNW gerichtet, die aus dem Raum Mureck gegen Siebing verläuft, die ebenfalls gegen Osten einfällt. Sie könnte in Zusammenhang mit dem Vulkanismus die Ursache für die hochmineralisierten und CO_2 -reichen Wässer bei Weinburg und Siebing darstellen.

Mit dem derzeitigen Wissen sind die Verhältnisse im östlichen Arbeitsgebiet durch das Zusammentreffen der Südburgenländischen Schwelle und dem tertiären

(miozänen und pliozänen) Vulkanismus nur sehr schwer interpretierbar. Daher ist es theoretisch möglich, die CO_2 -reichen Wasser mit beiden in Verbindung zu bringen.

Vergleicht man die geologische Situation mit den Verhältnissen im südlichen Burgenland, so ist sicher auffällig, daß auch dort in Schwellennähe die CO_2 -reichsten Wasser auftreten (H.P. LEDITZKY, 1981). Das würde sicher darauf hindeuten, daß in Schwellennähe größere Bruchstrukturen vorhanden sind, entlang derer die Teilbecken abgesunken sind. Durch die geringe Sedimentüberlagerung wäre es durchaus erklärbar, daß entlang solcher Bruchstrukturen das CO_2 relativ leicht an die Oberfläche gelangen kann. Aus diesen Aspekten könnte für das Vorkommen des Mineralwassers der "Peterquelle" und für die erhöhten CO_2 -Gehalte im Raum Radochen und Gröbzing sicher eine Erklärung gefunden werden.

Vermutlich im Gegensatz dazu steht allerdings die von A. SCHÖUPPE (1952) vermutete Störung entlang des Sulzbachtales, die die Südburgenländische Schwelle in einem Winkel von ca. 45° queren mußte. Wie noch ausgeführt wird, können auch durch Temperaturmessungen an artesischen Brunnen Hinweise auf Störungen im Raum Radochen und Gröbzing abgeleitet werden.

3. Die geothermischen Verhältnisse

Der einzige Anhaltspunkt bezüglich der geothermischen Verhältnisse im Verwaltungsbezirk Radkersburg war bisher ein an der Tiefbohrung Radkersburg 2 gefahrenes T-log, dessen Ergebnisse aber, wie noch näher ausgeführt wird, vermutlich nur annähernd die tatsächlichen Temperaturverhältnisse an der Beckenbasis widerspiegeln. Durch die folgende Untersuchung soll geklärt werden, ob sich diese, ja nur an einem Punkt ermittelte geothermische Tiefenstufe auf das gesamte Untersuchungsgebiet extrapolieren läßt, oder ob kleinräumige Differenzierungen vorhanden sind.

Zur Abklärung dieser Frage bieten sich zwei Untersuchungsmethoden an:

1. Messung der Basistemperaturen artesischer Brunnen
2. Temperaturmessungen an stehenden Wassersäulen in eigene dafür installierten Sonden

3.1. Temperaturmessungen an artesischen Brunnen

Die große Zahl der im Bezirk Radkersburg vorhandenen artesischen Brunnen, die zum Teil Tiefen bis 150 m erreichen, kann unter bestimmten Voraussetzungen relativ gute Anhaltspunkte über die geothermischen Verhältnisse in diesem Bereich liefern.

Die Problematik über die Verwendung von Temperaturen gespannter Grundwässer zur Ermittlung geothermischer Tiefenstufen wurde bereits im Zwischenbericht zur "Geothermiestudie über die geothermischen Verhältnisse im Verwaltungsbezirk Radkersburg" (H.P. LEDITZKY, 1981) kurz angerissen. Durch die Untersuchungen von T. RAHM & H.P. LEDITZKY (1981) im Raum Fürstenfeld zeichnete sich bereits deutlich ab, daß die Aussagekraft von Ausflußtemperaturen oberflächgespannter Wässer in Bezug auf die geothermischen Verhältnisse nur sehr beschränkt ist, hingegen die Mastemperaturen bedeutend zuverlässigere Parameter darstellen.

Aufgrund der Vielzahl der nun bereits vorliegenden Ergebnisse ergibt sich von der Problematik der Temperaturmessungen an artesischen Brunnen nunmehr ein so komplexes Bild, daß eine zusammenfassende Betrachtung möglich erscheint.

3.1.1. Aussagekraft der Ausflußtemperaturen artesischer Wässer

Im Rahmen einer im Auftrag der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz und dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hoferat für Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung) durchgeführten Inventarisierung aller in der Oststeiermark bestehenden artesischen Brunnen wurde in den Frühjahrs- und Sommermonaten 1976 die Aufnahme auch auf den Verwaltungsbezirk Radkersburg ausgedehnt. Diese Aufnahme, bei der neben den einfachsten chemischen Parametern auch die Ausflußtemperaturen gemessen wurden, stellt die Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen dar. An einigen Wässern wurden die erwähnten Messungen nach einigen Monaten wiederholt.

In Bezug auf die Ausflußtemperaturen zeigen sich hierbei ganz beträchtliche Unterschiede (Tab. 4), wobei aber zu bemerken ist, daß durch diese zwei Meßreihen keineswegs Temperaturextremwerte erfaßt worden sein müssen. Hieraus geht ganz

Tab. 4: Schwankungen der Ausflußtemperaturen artesischer Wässer

Inv. Nr.	Lokalität	Schüttung l/min	Ausflußtemperaturen °C			Tiefe m	Bemerkungen
			Datum	Ort	Datum		
426	Ungersdorf 4	1,02	27.1.76	11,0	29.7.76	13,6	Schwannenhals 1,5 m
430	Grasdorf 7	5,60	27.1.76	11,9	29.7.76	17,6	Schwannenhals 2 m
432	Grasdorf 6	2,14	27.1.76	11,2	29.7.76	12,1	Schwannenhals 1 m
445	Rannersdorf 2	10,20	13.6.76	13,2	29.7.76	14,6	Schwannenhals 2,5 m
447	Rannersdorf 7	1,92	23.6.76	13,3	29.7.76	14,8	Schwannenhals 1,2 m
455	Nettersdorf 16	1,50	28.6.76	11,5	29.7.76	15,3	Zuleitung im Boden ca. 20 m
457	Nettersdorf 60	0,72	28.6.76	11,1	29.7.76	12,4	Schwannenhals 0,7 m
460	Siebing 6	1,32	28.6.76	11,3	29.7.76	14,0	Schwannenhals 0,7 m
461	Siebing 17	0,60	28.6.76	11,0	29.7.76	13,3	Ausfluß bodeneben
462	Siebing 18	0,72	28.6.76	11,7	29.7.76	14,7	Schwannenhals 0,3 m
464	Siebing 54	0,78	28.6.76	10,9	29.7.76	12,7	Schwannenhals 1 m

klar hervor, daß die Ausflußtemperaturen überflurgespannter Wässer jahreszeitlich bedingten Schwankungen unterworfen sind.

Aus den bisher gewonnenen Erfahrungen lassen sich vorerst drei Faktoren erkennen, die einen ganz entscheidenden Einfluß auf die Ausflußtemperaturen haben.

1. Der direkte Einfluß durch die zum Zeitpunkt der Messung herrschende Lufttemperatur: Ihm sind in besonderem Maße artesischen Brunnen ausgesetzt, die mit einem Schwannenhals bestückt sind, da sich dieser im Laufe eines Tages den kontinuierlichen Lufttemperaturschwankungen anpassen trachtet. In diesem Zusammenhang ist natürlich auch die örtliche Lage des Brunnens von Bedeutung, d.h. ob dieser z.B. einer direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist oder ob er sich im Schatten befindet.

Bei einer Temperaturmessung am Brunnen Nr. 464 in Siebing am 27.1.1981 betrug die Ausflußtemperatur am 1 m langen Schwannenhals bei einer Lufttemperatur von -5°C $11,5^{\circ}\text{C}$. Nach Entfernen des Schwannenhalses wurde am Standrohr (bodsnah) eine Wassertemperatur von $11,66^{\circ}\text{C}$ gemessen. Die Abkühlung betrug somit nur entlang des kurzen Bleirohres bereits $0,5^{\circ}\text{C}$.

2. Der Einfluß jahreszeitlich bedingter Temperaturschwankungen

Wie die Erfahrungen von T-Logg an stehenden Wassersäulen gezeigt haben, wirken sich jahreszeitlich bedingte Schwankungen der Lufttemperatur bis in eine Bodentiefe von ca. 15 m aus. Die aufsteigende Wassersäule erfährt somit beim Durchlaufen dieser Wegstrecke eine Abkühlung oder eine Erwärmung. Hierbei ist natürlich die Aufstiegszeit von ganz entscheidender Bedeutung, die sich in der Schüttung des artesischen Brunnens widerspiegelt. Da sich diese bei den im Raum Radkorsburg untersuchten Brunnen meist nur im Bereich von wenigen hundertstel Liter pro Sekunde bewegt, kann dieser Störfaktor ganz beträchtlich sein. So benötigt z.B. die aufsteigende Wassersäule bei einer Brunnenschüttung von $0,01 \text{ l/s}$ und einem Bohrdurchmesser von $2,5''$ für das Durchlaufen dieser 15 m langen Strecke 79 Minuten (!), bei einer Schüttung von $0,05 \text{ l/s}$ immerhin auch 16 Minuten.

An dieser Stelle ist es unumgänglich, näher auf die bautechnische Ausbildung der Brunnen einzugehen. Im Großen und Ganzen lassen sich zwei Gruppen von artesischen Brunnen unterscheiden:

Die "Arteser" im eigentlichen Sinn, die auch tatsächlich Überflurgespanntes Wasser führen und sich durch irgendeine Form eines "Schwanenhalses" auszeichnen.

Weitere jene "Arteser", die nicht über die Geländeroberfläche aufspiegeln oder auch künstlich niedergehalten werden.

Bei der Demontage eines Schwanenhalses kann durchaus der Fall auftreten, daß das Wasser nicht mehr Überflurgespannt ist und somit im gesetzlichen Sinn auch kein Arteser mehr vorliegt. Diese Tatsache wird vor allem bei der Anlage neuerer Brunnen genutzt, wo das Bohrrohr in einen Schacht mündet und die Wassereinnahme mittels einer Saugpumpe erfolgt. In diesem Schacht stellt sich ein konstanter Wasserspiegel ein und nur bei Entnahme tritt gespanntes Grundwasser in den Schacht ein. Solche Brunnen zeigen deutlich einen Einfluß der jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen zumindest bis in die Tiefe des Schachtes, die sich in Form einer Abkühlung bzw. Erwärmung auf die Wassersäule im Bohrrohr auswirkt. Ganz deutlich ist dies anhand der T-Logs an den Brunnen Nr. 431 und 441 (Fig. 4) erkennbar. Wesentlich geringer, aber trotzdem noch deutlich ausgeprägt, ist dieser Effekt bei frei ausfließenden Überflurgespannten Wässern, z. B. bei den Brunnen 843 und 464 (Fig. 4).

Allerdings ist bei der Interpretation solcher T-Logs Vorsicht geboten, da auch "Schachtarteeser" existieren, die einen Überlauf (meist unterirdisch) haben und dadurch trotz des vorhandenen Schachtes laufend Wasser aus dem Bohrrohr austritt.

3. Etwa ab der Tiefe von 10 - 15 m wirkt, ausgehend vom umgebenden Sediment, ein Temperatureinfluß auf die aufsteigende Wassersäule. Dieser ist nicht mehr jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen und wirkt sich somit nur in Form einer $\pm$ konstanten Abkühlung des aufsteigenden Wassers aus. Die Abkühlung ist im Idealfall kontinuierlich und wäre dann nur mehr von der Aufsteigzeit abhängig. Die in Fig. 4 dargestellten T-Logs zeigen aber, daß diese Abkühlung in der Praxis nicht völlig linear ist. Hier spielen

noch eine ganze Reihe von Faktoren eine Rolle, wie die Tiefe der Verrohrung, Vermischung mit durchteuften Aquiferen und sicher auch stark differierende Durchmesser in unverrohrten Bohrstrecken, die durch Aufkolkungen, Versandungen etc. entstehen.

Die Abkühlung während des Aufstieges wird verständlich, wenn man als Beispiel den 63 m tiefen Brunnen Nr. 464 betrachtet (Fig. 4), bei dem bei einer Schüttung von 0,7 l/min und einem idealisierten Bohrdurchmesser von 2,5" das Wasser drei Stunden benötigt, um vom Aquifer in 40 m Tiefe (darunter steht die Wassersäule) bis an die Oberfläche aufzusteigen. Im allgemeinen kann also gesagt werden, daß, wie auch aus der graphischen Darstellung (Fig. 4) hervorgeht, größere Schüttungen eine geringere Abkühlung bedingen.

In den sogenannten "Schachtarteesern" bei denen sich die Wassersäule je nach Entnahmemenge und -häufigkeit, mehr oder weniger geringfügig nach oben bewegt, nähert sich der Anstieg der Temperatur in der Wassersäule gegen die Tiefe der geothermischen Tiefenstufe an.

Einen Sonderfall stellt das beim Brunnen Nr. 456 (Hattersdorf 67) gefahrene T-Log dar (Fig. 5).

Es handelt sich um einen "Schachtarteeser" im Keller eines Wohnhauses. Das gefahrene T-Log (Außentemperatur -8°C) läßt einen völlig anomalen Temperaturverlauf bis in eine Tiefe von ca. 14 m erkennen, der nur durch eine Wärmeabstrahlung des Gebäudes gegen die Tiefe bzw. durch eine Erwärmung der oberen Bodenschichten durch die Druckbelastung des Wohnhauses erklärt werden kann. Übrigens konnte die angegebene Tiefe von ca. 90 m mit der Meßsonde nicht erreicht werden.

Anhand dieses speziellen Falles stellt sich die Frage, inwieweit sich eine solche Temperaturbeeinflussung durch ein bestehendes Gebäude auch lateral auswirken kann, d.h., ob nicht ein knapp neben einem Gebäude situierter artesischer Brunnen bereits eine erhöhte Ausflußtemperatur aufweisen kann.

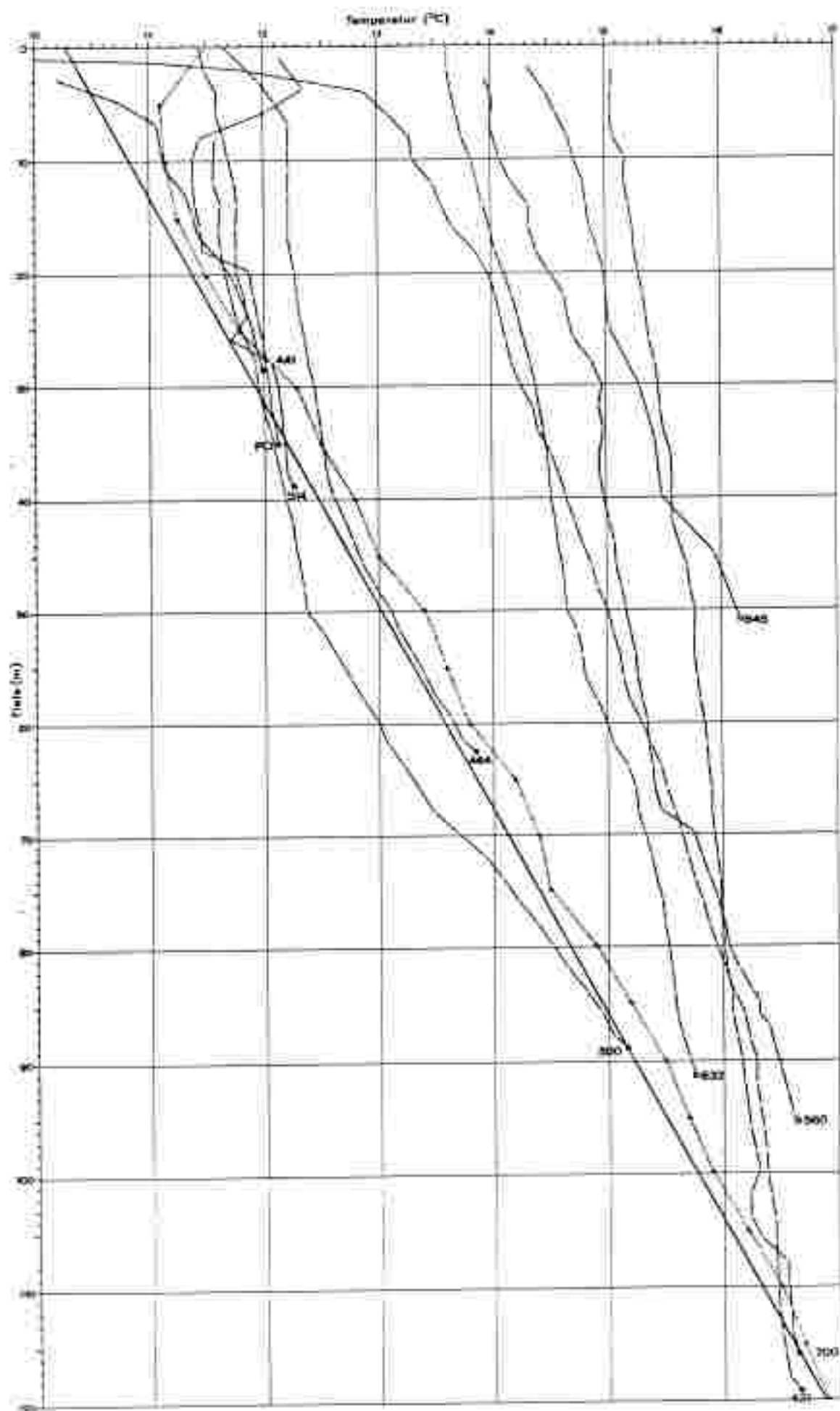


Fig. 6. Change in relative viscosity of the polymerization system, the resulting gel during the heating process (with 100 ml. solution) and subsequent cooling (with 100 ml. solution) and subsequent heating.

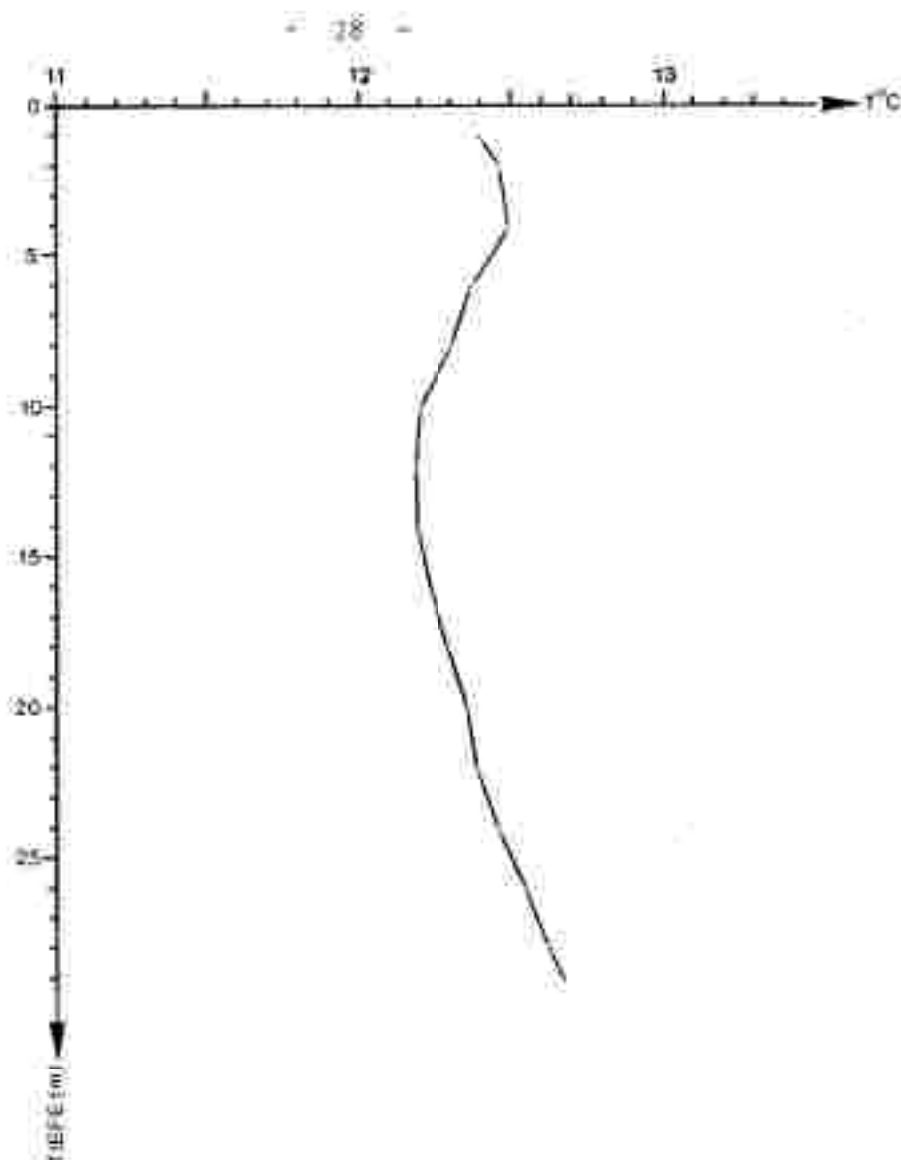


Fig. 5: Temperaturverlauf des im Keller eines Wohnhauses gelegenen Brunnens Nr. 456.

3.1.2. T-Log an artesischen Brunnen

Aus den eingangs erwähnten Gründen ist die Ausflußtemperatur artesischer Brunnen das Integral einer Vielzahl praktisch nicht mehr erfassbarer Faktoren. Sie ist daher als Grundlage zur Berechnung geothermischer Tiefenstufen von vornherein als sehr problematisch anzusehen.

Unter der Voraussetzung, daß die Aquifertemperatur der Formationstemperatur gleichzusetzen ist, stellt somit nur die Basistemperatur artesischer Brunnen einen einigermaßen gesicherten Wert dar, aus dem die geothermische Tiefenstufe

berechnet werden kann.

Die meist geringmächtigen langsam durchströmten Aquifere innerhalb der feinklastischen Sedimente des Badenien und Sarmatien stellen hierfür eine günstige Voraussetzung dar.

Es wurden daher alle im Bezirk Kadkersburg bekannten Bohrbrunnen auf eine Befahrbarkeit mit einer Temperaturneßsonde untersucht. Solche Brunnen wurden einerseits in den schon erwähnten "Schachtarteesern", andererseits in Artesern mit abschraubbaren Schwännekälken gefunden. Etwa nur bei einem Drittel dieser Brunnen konnte allerdings die Meßsonde auch bis in die angegebene Brunnentiefe eingefahren werden. In Fig. 4 sind die gefahrenen T-Logs graphisch dargestellt, die Brunnendaten sowie die Ausfluß- und Basistemperaturen sind in Tab. 5 aufgelistet.

Es zeigt sich hierbei ganz deutlich, daß das Wasser während seines Aufstieges durchwegs eine ganz beträchtliche Abkühlung erfährt und in keinem einzigen Fall die Ausflußtemperatur der Aquifertemperatur gleichgesetzt werden kann.

3.1.3. Beschreibung der zur Ermittlung der geothermischen Tiefenstufe herangesogenen T-Logs

Brunnen Nr. 431

Das Bohrrohr mündet in einen 6 m tiefen Schacht und reicht bis 1 m unter die Geländeoberkante, wobei das Wasser bis 0,5 m u.T. aufspielt. Das im Schacht stehende Wasser kühlt die im Steigrohr stehende oder sich nur gering nach oben bewegende Wassersäule beträchtlich ab.

Brunnen Nr. 441

Auch hier handelt es sich um einen "Schachtarteeser". Im ca. 5 m tiefen Brunnen spiegelt das Wasser aus dem Steigrohr bis -3 m auf. In gleicher Höhe befindet sich auch das Ende des Steigrohres. Aufgrund der zum Zeitpunkt der Messung herrschenden kalten Jahreszeit zeigt der obere Teil des T-Logs starke Abkühlungseffekte. Da aus dem Brunnen nur sporadisch Wasser entnommen wird, steht die gesamte Wassersäule nahezu vollkommen. Aus dem Bereich zwischen 13 und 23 m läßt sich daraus eine geothermische Tiefenstufe von $18,7 \text{ m}^{\circ}\text{C}$ errechnen (s. Tab. 5).

Tab. 3: Temperaturmessungen an artesischen Brunnen

Inv. Nr.	Messung am	Lokalität	Brunnentiefe (m) angegeben	erreicht	Ausflusstemperatur °C	Basistemperatur °C	Bemerkungen
431	13. 2. 81	Grasdorf 5	120	119,5	12,21	16,69	"Schachtartener"
441	27. 1. 81	Zehrendorf 27	26	29	10,20	11,99	" "
464	27. 1. 81	Siebling 54	70	63	11,66 (10,90)†	13,82	1 m Schwannenhals 0,79 l/min
500	13. 2. 81	Oberzönitz	65-90	89	11,58	15,16	"Schachtartener"
516	20. 1. 81	Mierendorf	60	39	11,48 (10,90)†	12,26	3 m Schwannenhals 1,8 l/min
560	13. 10. 81	St. Peter (Bau)	96	95,5	13,86	16,68	Schacht mit Ab- fluß
700	26. 7. 81	Trübsing 65	128	116	15,07	16,71	"Schachtartener"
832	3. 9. 81	Radochow 66	90	91,5	13,62	15,80	2,2 m Schwannenhals 1,8 l/min
865	3. 12. 81	Grüßling	97	51	14,33	16,16*	1,5 m Schwannenhals 3,6 l/min
PQ	3. 11. 81		7	35	12,13 oben	12,10	

Ausflusstemperaturen in Klammern; nach Entfernen des Schwannenhals am bodenhebenen Rohrstutzen gemessen
16,16 : Basis nicht erreicht

Brunnen Nr. 464

Auf das bodenaben abgeschnittene Bohrrohr ist ein 1 m langer Schwanenhals aufgesetzt, der für die Sondemessung entfernt werden mußte. Hier zeigt sich, wie schon erwähnt, daß die aufsteigende Wassersäule bereits entlang dieses kurzen Rohres eine Abkühlung von $0,5^{\circ}\text{C}$ erfährt. Deutlich ist auch zu erkennen, daß sich hin in eine Tiefe von etwa 7 m die jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen entscheidend auswirken. Das bemerkenswerteste an diesem Log ist aber, daß der Bereich zwischen 38 und 63 m die später errechnete geothermische Tiefenstufe widerspiegelt. Es muß also hier eine stehende Wassersäule vorhanden sein. Die Vermutung liegt daher nahe, daß dieser Brunnen wahrscheinlich aufgrund eines Versuchs, einen ergiebigen Aquifer zu erschöpfen, zu tief gebohrt wurde.

Brunnen Nr. 500

An der Basis eines 8 m tiefen Schachtes wurde die Bohrung niedergebracht und mit einem Durchmesser von $3/4"$ durchgehend verröhrt. Vorerst nicht geklärt werden kann das Faktum, warum das aufsteigende Wasser im unteren Teil der Bohrung im Gegensatz zu allen bisherigen Erfahrungen eine starke Abkühlung erfährt.

Brunnen Nr. 516

Auf das 0,4 m über Geländeoberkante reichende Standrohr ist ein 2,2 m langer Schwanenhals aufgesetzt, der für die Befahrung mit der Temperaturnaßsonde entfernt werden mußte. Der Brunnen selbst steht in einem Hof und ist von Gebäuden umgeben.

Die im Gegensatz zu anderen zur gleichen Zeit gemessenen Brunnen (z.B. Nr. 464) kaum merkliche Abkühlung beim Durchlaufen der obersten Bodenschichten kann einerseits auf die etwas stärkere Schüttung zurückzuführen sein, könnte aber auch aus der Tatsache resultieren, daß der Brunnen von Gebäuden umgeben ist und sich hier ein ähnliches Phänomen auswirkt, wie es bei dem schon erwähnten Brunnen Nr. 455 aufgetreten ist (Wärmeausstrahlung bzw. Erwärmung durch Gebäudedruck).

Brunnen Nr. 700

Es handelt sich hier um einen "Schachtartesiser", bei dem das Steigrohr bis 40 cm unter die Geländeoberkante reicht. In dieses ist ein mit einer Bohrung versehener Holzstoppel eingetrieben, der zur Drosselung dienen soll.

Für die Befahrung mit der Meßsonde mußte diese Bohrung erweitert werden. Da deutlich erkennbar ist, daß laufend Wasser aus dem Steigrohr austritt, muß der Schacht undicht sein oder ein unterirdischer Abfluß bestehen. Die Tatsache einer relativ schnell aufsteigenden Wassersäule geht auch aus der Steilheit des Temperaturverlaufes hervor. Aufgrund der kräftigen Erwärmung der obersten Bodenschichten in den Sommermonaten (die Messung erfolgte im Juli 1981) wird der Abkühlungseffekt in den obersten Metern völlig ausgeglichen.

Versuchsbrunnen der "Peterquelle" in Deutsch Goritz (PQ)

Diese Bohrung soll durchgehend verrohrt und darauf seit Jahren keine Wasserentnahme mehr erfolgt sein. Die somit stehende Wassersäule ist in den obersten Metern stark erwärmt, zeigt aber doch bereits Abkühlungseffekte (Messung Oktober 1981). Die ab etwa 5 m beginnende starke Abkühlung läßt sich durch den anschließenden gut durchmischten Aquifer innerhalb der durchhärteten Würmschotter erklären. Daß sich weiter gegen die Tiefe trotz der stehenden Wassersäule keine den geothermischen Verhältnissen entsprechende Temperaturzunahme einstellt, ist sicher auf eine Ausstrahlung dieses mehrern Meter mächtigen Aquifers zu erklären.

3.1.4. Berechnung der geothermischen Tiefenstufe anhand der Basistemperaturen dieser artesischen Brunnen

Zieht man die Basistemperaturen der artesischen Brunnen als Berechnungsgrundlage für eine geothermische Tiefenstufe heran, so setzt dies natürlich voraus, daß die Aquifertemperaturen, wie schon erwähnt, auch tatsächlich den Formationstemperaturen gleichzusetzen sind.

Wie aus Fig. 4 zu sehen ist, besteht bei den Brunnen Nr. 441, 514, 464, 500, 700 und PQ eine klare Beziehung der Basistemperaturen zur Tiefe. Diese Wertpaare stellen somit ein Temperaturidealprofil für die obersten 120 m der Sedimentabfolge im Untersuchungsgebiet dar. Aus einer durch diese Punkte gelegten Ausgleichsgeraden errechnet sich eine geothermische Tiefenstufe von $18,2 \text{ m}/^{\circ}\text{C}$ bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,999, also einer heinahe idealen Korrelation dieser Parameter (s. Tab. 6).

Daß diese geothermische Tiefenstufe den tatsächlichen geothermischen Verhältnissen entspricht, beweist das an der Thermalwasserbohrung Badkersburg gefahrene Temperaturlog, das als Vergleich für den durch die artesischen Brunnen erfüllten Bereich ebenfalls in Fig. 4 dargestellt ist und das praktisch parallel zu der errechneten Ausgleichsgeraden verläuft.

Im Bereich aller Brunnen deren Basistemperaturen annähernd auf der Regressionsgeraden liegen, herrschen somit etwa die gleichen geothermischen Verhältnisse vor. Aufgrund der großräumigen Verteilung der Meßpunkte kann praktisch für den gesamten Bezirk Badkersburg eine einheitliche geothermische Tiefenstufe angenommen werden. Dieses Ergebnis decken sich mit Untersuchungen im Raume Fürstenfeld (T. HARUM & H.P. LEDITZKY, 1981), wo durch die gleichen Untersuchungen methodisch ebenfalls gezeigt werden konnte, daß die geothermische Tiefenstufe über große Flächen annähernd gleich bleibt. Im Falle Fürstenfeld konnte diese Methode der Bestimmung der geothermischen Tiefenstufe anhand der Basistemperaturen artesischer Brunnen durch ein an der Tiefbohrung Waltersdorf gefahrenes T-Log auch voll und ganz bestätigt werden (s. Fig. 11).

3.1.5. Nicht in die Berechnung einbezogene Meßwerte

Die Brunnen Nr. 560, 832 und 845 kommen nicht auf dieser Ausgleichsgeraden zu liegen, weshalb sie einer näheren Erläuterung bedürfen.

Brunnen Nr. 560

In einen 3 m tiefen Schacht mündet ein Bohrerohr, das bis 0,5 m unter den Schachtdeckel reicht und hier mit einem Krümmer versehen ist. Um diese Bohrung zugänglich zu machen, wurde das Rohr 1 m über der Schachtsohle abgeschnitten.

Wie aus Fig. 4 hervorgeht, ist die gemessene Temperatur in 95,5 m Tiefe in Bezug auf die errechnete Ausgleichsgerade (geothermische Tiefenstufe $18,2 \text{ m}^\circ\text{C}$) bedeutend zu hoch. In solchen Fällen stellt sich zumeist heraus, daß die vom Besitzer angegebene Bohrtiefe mit der Sonde nicht erreicht werden konnte. Überraschenderweise wurde für diesen Arteser aber eine Tiefe von 96 m mehrfach bestätigt.

Unter der Voraussetzung, daß diese Brunnentiefe nun auch tatsächlich stimmt, müßten hier bedeutend günstigere geothermische Verhältnisse herrschen. Dies widerspricht aber allen bisher gewonnenen Erkenntnissen der großräumigen Verteilung der geothermischen Tiefenstufen.

Dieses würde sich für diesen speziellen Fall nach der Formel

$$\text{Geothermische Tiefenstufe} = \frac{\text{Tiefe des Aquifer}}{\text{Aquifertemperatur-Oberflächentemp.}}$$

mit $14,9 \text{ m/}^{\circ}\text{C}$ errechnen, wobei als Oberflächentemperatur der aus der Regressionsgeraden zu errechnende Schnittpunkt mit der Oberfläche ($10,26^{\circ}\text{C}$) einzusetzen wäre (H. P. LEDITZKY, 1980). Dieser theoretische Wert müßte allerdings durch eine Detailuntersuchung in diesem Bereich erst bestätigt werden. Auch die hydrochemischen Untersuchungen (Kap. 2.) ergaben keinerlei Hinweise auf eine Sonderstellung dieses Brunnens, wie z. B. eine Situierung im Bereich einer Störungslinie.

Brunnen Nr. 832

Auf das bodeneben abgeschnittene Bohrrohr ist ein 2,2 m langer Schwanenhals aufgeschraubt, der für die Befahrung mit der Meßsonde demontiert werden mußte. Auch in diesem Fall wurde die angegebene Bohrtiefe erreicht.

Die geothermische Tiefenstufe würde sich nach der obigen Formel mit $10,5 \text{ m/}^{\circ}\text{C}$ errechnen lassen.

Brunnen Nr. 845

Auf das Bohrrohr ist ein 1,5 m langer Schwanenhals montiert, der wiederum entfernt werden mußte. Die Temperaturmeßsonde konnte in den angeblich 97 m tiefen Brunnen nur bis in eine Tiefe von 51 m eingefahren werden. Unter der rein theoretischen Annahme, daß ab 51 m die Temperatur des aufsteigenden Wassers gegen die Tiefe nicht mehr zunimmt, wäre dieser Temperaturwert auch für die angegebene Brunnentiefe von 97 m noch immer zu hoch.

Während für das am Brunnen Nr. 560 gefahrene Log vorerst keine Erklärung gefunden werden kann, müssen doch für die beiden anderen Loge die geologischen Verhältnisse berücksichtigt werden. Diese Brunnen befinden sich im Bereich des

jungtertiären Vulkanismus und hier muß doch neben u.U. tatsächlich günstigeren geothermischen Verhältnissen auch die Möglichkeit von an Störungen oder Spalten rasch aufsteigender höher temperierter Wasser in Betracht gezogen werden. Die chemische Zusammensetzung und der hohe CO_2 -Gehalt, der aus diesen Brunnen geförderten Wasser könnten solche Vermutungen erhärten (s. Kap. 2.).

3.2. Die Berechnung der geothermischen Tiefenstufe aus Messungen an Temperatursonden mit stehender Wassersäule

Bezüglich des Prinzips der Temperaturmessungen an Sonden und der Bohrmethode wird auf die Ausführungen im Endbericht zu "Geothermiestudie im Mittleren Burgenland, Schwerpunkt Oberpullendorf - Wärme-flaßmessungen" (Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz-Burg) verwiesen, der dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung Ende Mai 1981 übermittelt wurde.

Wie bereits die Untersuchungen von T. HARUM & H.P. LEDITZKY (1981) im Raum Fürstenfeld gezeigt haben, liefern die Berechnungen der geothermischen Tiefenstufe anhand der Basistemperaturen artesischer Brunnen und die an speziell für Temperaturmessungen niedergebrachten Sonden übereinstimmende Ergebnisse.

Es wurde daher im Bezirk Radkersburg danach getrachtet, solche Sonden nur in Bereichen zu installieren, die nicht durch artesischen Brunnen aufgeschlossen sind.

Die Lokalisierung von Bohrpunkten gestaltet sich in diesem Raum aus zwei geologischen Gründen schwierig. In den tertiären Ablagerungen sind, wie die zahlreich vorhandenen artesischen Brunnen zeigen, laufend wasserführende Sand-Kieshorizonte in unterschiedlichsten Tiefen eingeschaltet. Die Wahrscheinlichkeit, solche Aquifere durch das Niederbringen der 40 m tiefen Temperatursonden aufzuschließen ist somit sehr groß, was auch zahlreiche bekannte und für die unterschiedlichsten Zwecke abgeteufte und z.T. sehr seichte Bohrungen bestätigen (H. ZETINIOG, 1982).

Andererseits wird die Mur von einem ausgedehnten, durchschnittlich 10 m mächtigen Schotterfeld der Würmterrasse begleitet, das durch einen mehrere

Meter mächtigen, gut durchströmten Aquifer charakterisiert ist. Wie die bereits beschriebene Versuchsbohrung PQ der Peterquelle in Deutsch Goritz zeigt (Fig. 4), beeinflusst dieser Aquifer das unterliegende Tertiär so stark, daß eine in solchen Bereichen niedergebrachte Temperaturmeßsonde von vornherein keine realen Ergebnisse erwarten läßt. Der gleiche Effekt ist im T-Log der Tiefbohrung Radkersburg erkennbar (Fig. 4).

Zwischen dem Tertiär im Norden und den Würmschottern im Süden sind noch ältere kaltzeitliche Terrassen eingeschaltet, deren bedeutendste die im Riß gestellte "Halfbrunner Terrasse" ist. Ihr sedimentologischer Aufbau ist durch Untersuchungen von H. F. LEDITZKY, 1971 und E. FASIANI, 1978 weitgehend bekannt.

Unter einer durchschnittlich 6 - 8 m mächtigen Lehmhaube lagert ein nur geringmächtiger z.T. verlehnter Kieskörper, der örtlich wasserführend ist. Aufgrund der Höhenlage dieses Aquifers und der ausnehmenden geringen Fließgeschwindigkeit des Wassers kann dieser kaum als Störfaktor bei der Temperaturmessung an einer stehenden Wassersäule angesehen werden.

Es war daher naheliegend, die Sonden auf dieser "Halfbrunner Terrasse" niederzubringen.

Die Sonde Nr. 2 liegt im Areal der regionalen Mülldeponie Halbenrain, die Sonde 1 im Ortsgebiet von Untersporka (s. Beil. 1).

Zur Erleichterung der Interpretation der T-Logs wurden während der Bohrarbeiten, soweit dies bei der durchgeführten Technik möglich war (Kombination von Schlag- und Spülbohrung), Sedimentproben entnommen. Die Darstellung der in Fig. 6 und 7 wiedergegebenen Sedimentprofile beruht auf im Labor durchgeführten kombinierten Sieb- und Schlämmanalysen und Beurteilungen des Spülgutes im Gelände.

Die Darstellung der aus beiden Bohrungen gewonnenen Sedimente im Ton-Schluff-Sand Dreieck (Fig. 8) läßt ganz deutlich die Korngrößenunterschiede zwischen dem Tertiär und den darüberliegenden quartären Lehmen erkennen. Während die tertiären Sedimente durchwegs einen beträchtlichen Sandanteil aufweisen, überwiegen in den Deckschichten der Halfbrunner Terrasse die Ton-Schluff-Fractionen (Fig. 9).

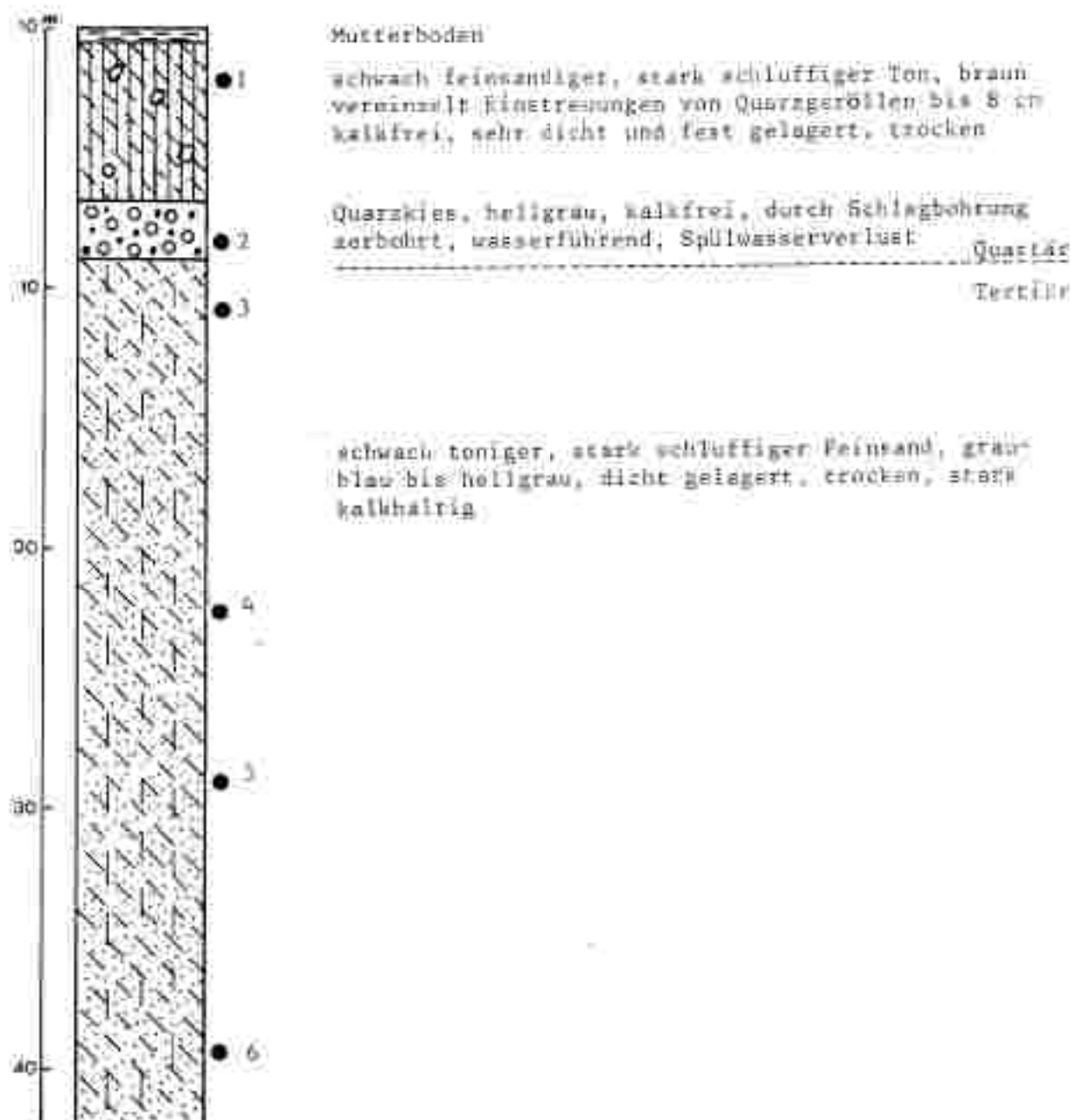


Fig. 6: Bohrprofil der Sonde in Unterputzle (S 1)
Darstellung und Benennung nach DIN 4033

● Proben für kombinierte Sieb-Schlammanalysen

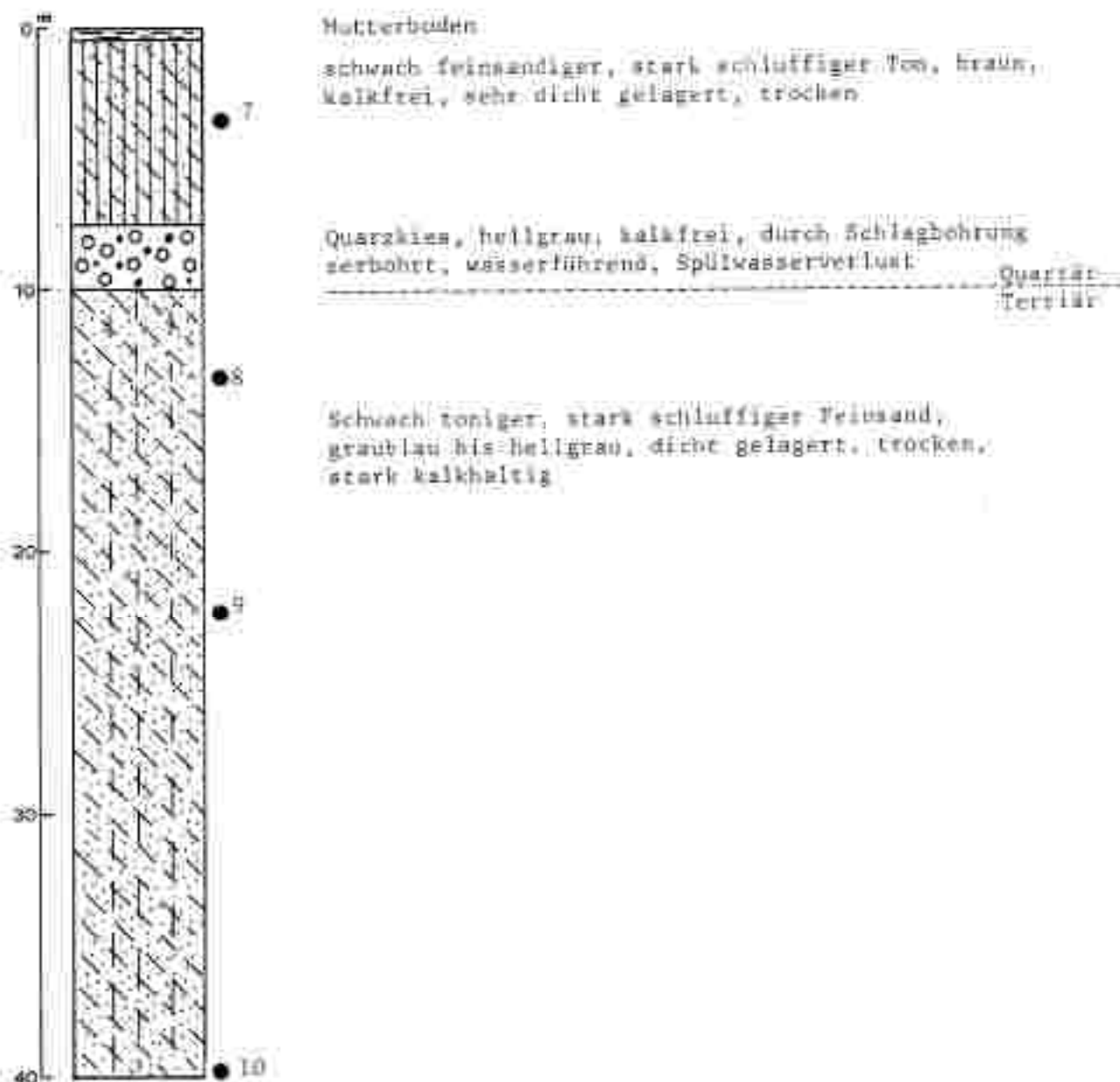


Fig. 7: Bohrprofil der Sonde 2 in Halbenrain (H 2)
Darstellung und Benennung nach DIN 4033

● Proben für kombinierte Sieb-Schlammanalysen

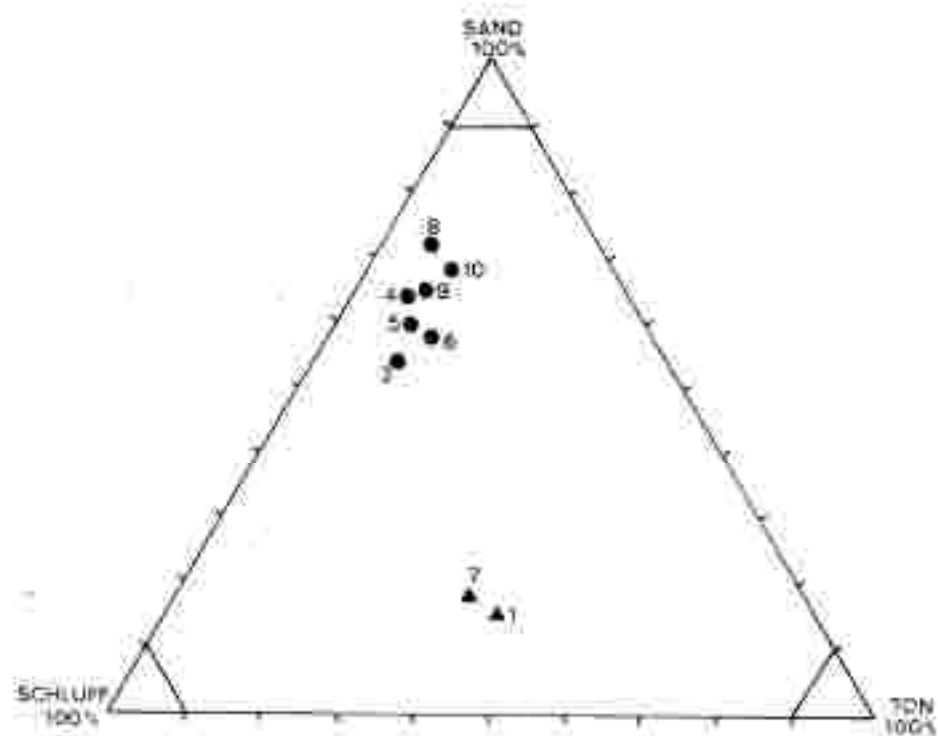


Fig. 8: Darstellung der Sedimente im Sand-Schluff-Ton Dreieck

- 1 - 6 Sonde Unterpurkla
- 7 - 10 Sonde Halbenrain
- Tertiär
- ▲ Halbrunnen-Terrasse (Quartär)

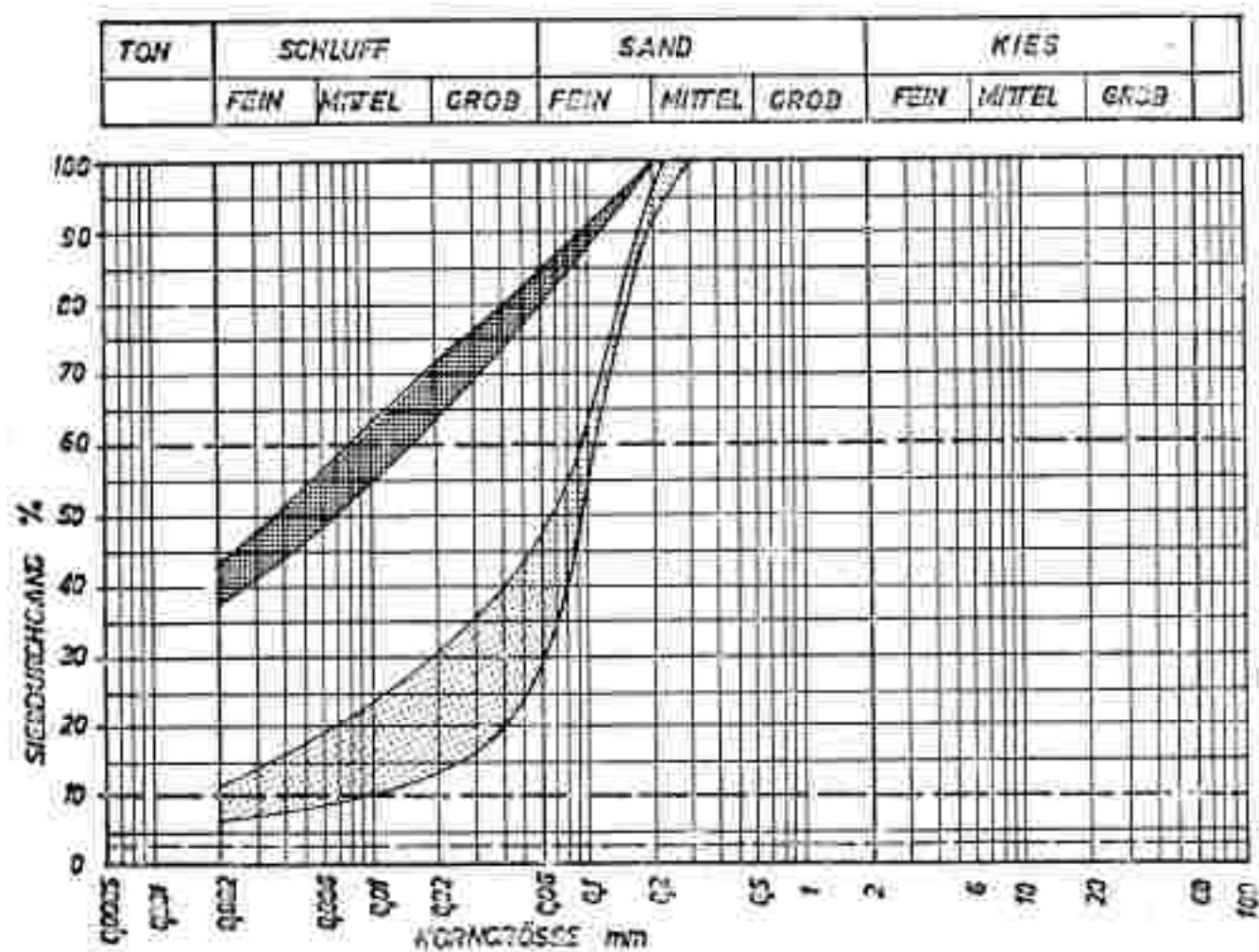


Fig. 9: Spektrum der Korngrössenzusammensetzung der erhöhten Sedimente

-  Helbrunner Terrassen (Quartär)
-  Tertiär

Die Temperaturlogs an den beiden Sonden wurden am 9. Oktober 1981 nach einer fünfwöchigen Stehzeit gefahren, nachdem das durch das Spülwasser abgekühlte umgebende Sediment wieder die ursprüngliche Temperatur angenommen hatte.

Die Ergebnisse der T-Logs sind der Tab. 6, ihre graphische Darstellung der Fig. 10 zu entnehmen.

Der deutlich erkennbare Oberflächeneinfluß der jahreszeitlichen Lufttemperaturschwankung reicht bei der Sonde 1 bis in eine Tiefe von 10 m, bei der Sonde 2 hingegen nur bis 7 m. Ab diesen Tiefen erfolgt eine langsame Angleichung an die tatsächlichen Formationstemperaturen.

Um die beiden an den Sonden gefahrenen T-Logs vergleichen zu können, ist die Ermittlung von Kurvenabschnitten mit möglichst günstiger Korrelation notwendig, die einen linearen Temperaturanstieg nach der Tiefe signalisiert.*

Während bei der Sonde 1 diese Linearität zwischen 16 und 42 m gegeben ist, tritt sie bei der Sonde 2 im Bereich zwischen 20 und 36,5 m auf.

Durch die Ermittlung der Regressionsgeraden läßt sich für die Sonde 1 eine geothermische Tiefenstufe von $18,7 \text{ m}^{\circ}\text{C}$, für die Sonde 2 eine von $20,3 \text{ m}^{\circ}\text{C}$ ermitteln.

Somit wird die aus den Basistemperaturen artesischer Brunnen errechnete geothermische Tiefenstufe bestätigt.

Die Temperaturmessungen an den artesischen Brunnen Nr. 484 und 441 wurden bei stehender Wassersäule durchgeführt. Diese Logs sind neben der Regressionsgeraden der Basistemperaturen der artesischen Brunnen und dem obersten Abschnitt des T-Logs der Tiefbohrung Radkersburg ebenfalls in Fig. 10 dargestellt. Alle diese Temperaturkurven sind annähernd parallel und ergeben somit praktisch die gleichen geothermischen Tiefenstufen (vgl. auch Tab. 5).

Im Gegensatz zu den Erfahrungen, die im mittleren Burgenland gemacht wurden (H.P. LEDITZKY, 1981), zeigen die T-Logs der Sonden 1 und 2 eine klare Parallelverschiebung. Während bei 7 im Mittleren Burgenland gefahrenen T-Logs die berechneten Temperaturen an der Geländeoberfläche beinahe gleich waren, differieren sie bei den Sonden im Bezirk Radkersburg um ca. $1,5^{\circ}\text{C}$ (s. Tab. 6).

* Bezüglich der Problematik der Auswertung von T-Logs und der Auswahl von Kurvenabschnitten, die zur Berechnung von geothermischen Tiefenstufen herangezogen werden können, sei auf H.P. LEDITZKY (1981) verwiesen.

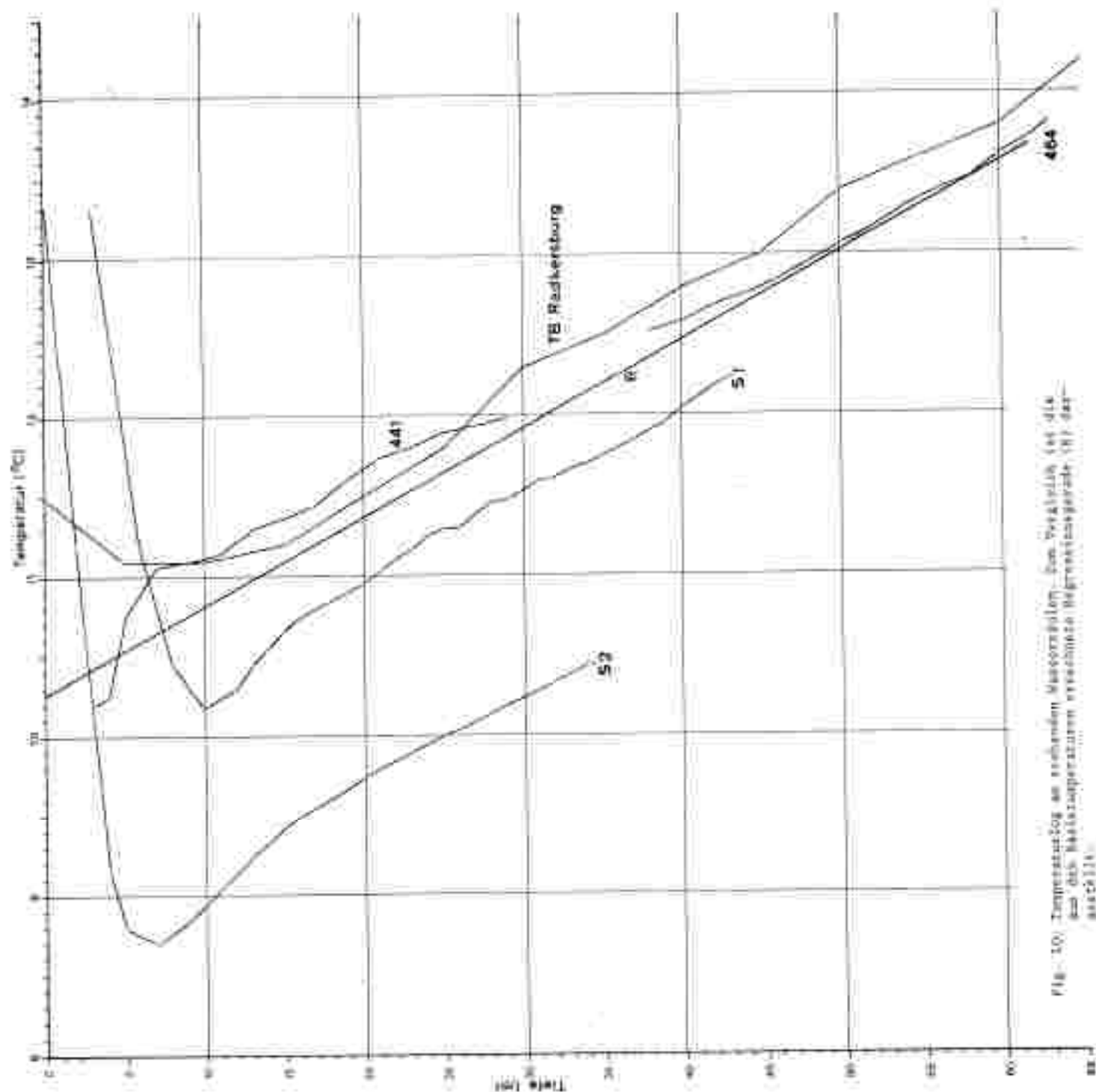


Fig. 10) Temperaturlog an verschiedenen Messstellen. Dem Diagramm ist die aus den Messkurven ermittelte Regressionsgerade (R) dargestellt.

Dieses Phänomen war bereits, allerdings nicht so extrem, bei Sondenmessungen in Stegerbach zu beobachten (H.P. LEDITZKY, 1980), konnte aber damals nicht erklärt werden. Geringere Parallelverschiebungen waren auch bei den T-Logs der Sonden Fürstenfeld (T. RAKON & H.P. LEDITZKY, 1981) zu beobachten.

In Bezug auf die Tiefsonde Badkersburg 2 ist nun sicher auffällig, daß diese in der Mitte eines ca. 3 x 3 km großen Waldstückes situiert ist. Es liegt also der Verdacht nahe, daß ein bei allen genannten Untersuchungen bisher nicht berücksichtigter kleinklimatischer Einfluß vorhanden ist. Dieser müßte allerdings so weit in die Tiefe wirken, daß durch die 40 m tiefen Sonden die Gesteine zur unbeeinflussten Formationstemperatur nicht mehr erreicht werden kann.

Ein solcher kleinklimatischer Einfluß ist durch eine temperaturregulierende Wirkung größerer Waldstücke, die eine generelle Senkung der Bodentemperatur nach sich zieht, sicher denkbar.

Bei einer nachträglichen Betrachtung der bisher im Burgenland und der Steiermark niedergebrachten Temperaturmesssonden fällt nun tatsächlich auf, daß zu niedrigen Temperaturwerten parallelverschobene T-Logs durchwegs in Waldstücken oder an Walderändern liegen. Der Verschiebungsbetrag scheint aber auch von der Größe der bewaldeten Fläche und von der topographischen Lage der Sonde abhängig zu sein.

Berüglich der im mittleren Burgenland niedergebrachten sieben Sonden muß bemerkt werden, daß sich kein einziger Bohrplatz auch nur in Waldnähe befindet.

Das im Zuge dieses Projektes entwickelte Konzept für die Ermittlung einer theoretischen Oberflächen-temperatur zur Gradientenberechnung an artesischen Brunnen (H.P. LEDITZKY, 1981) kann somit in vollem Umfang aufrecht erhalten werden, wenn bei der Auswahl von Standorten für die Abteufung von Temperaturmesssonden neben den geologischen Gegebenheiten auch auf einheitliche Oberflächenbedingungen (Vegetation, Verbauung, Morphologie) geachtet wird. Dieses Problem eines kleinklimatisch bedingten Temperatureinflusses auf die tieferen Bodenschichten, das für Geothermieprospektionen mittels Temperaturmesssonden von ganz entscheidender Bedeutung ist, sollte methodisch sicher weiterverfolgt werden.

Die durch die bisher angeführten Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sind übersichtlich in Tab. 6 dargestellt. Sie zeigen eine außerordentlich gute Über-

einstimmung. Es muß aber doch darauf hingewiesen werden, daß dadurch nur der oberste, 120 m mächtige Bereich der Erdkruste erfaßt werden konnte.

3.3. Das Temperaturlog der Tiefbohrung Radkersburg 2

An der in der Zeit vom 16.9.1977 - 10.1.1978 niederbrachten Thermalwasserbohrung Radkersburg 2 wurde am 10. April 1978 von der Österreichischen Mineralölverwaltung ein T-Log gefahren. Hierbei wurde die Sonde bis zum Ende der Verrohrung in einer Tiefe von 1788 m eingebracht.

Aus dem obersten Abschnitt dieses T-Logs (ca. 200 m) läßt sich eine geothermische Tiefenstufe errechnen, wie sie auch durch die oberflächennahen Prospektionsmethoden erhalten werden kann. Ab diesem Tiefenbereich liegen die gemessenen Temperaturen in der Tiefbohrung Radkersburg 2 nun aber durchwegs bedeutend tiefer als die aufgrund der oberflächennahen Erkundung gegen die Tiefe extrapolierten Werte (Fig. 11).

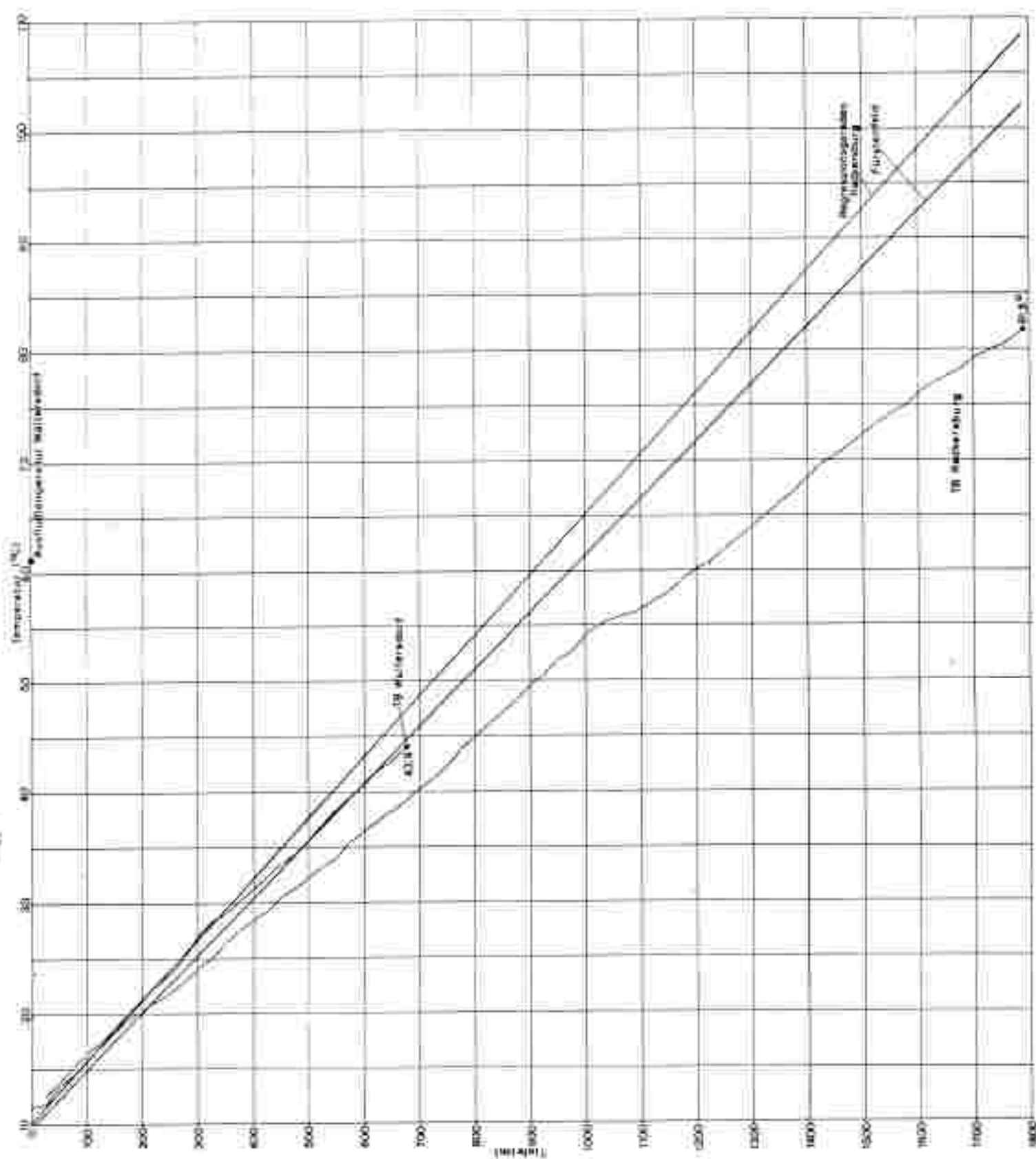
In diesem Zusammenhang muß aber herausgestrichen werden, daß zwischen dem Ende der Bohrung und dem gefahrenen T-Log nur ein Zeitintervall von 3 Monaten liegt. Es müssen daher berechnigte Zweifel in Betracht gezogen werden, daß innerhalb dieser sehr kurzen Zeitspanne überhaupt die Abkühlung des Gebirges durch die Spülflüssigkeit weitgemacht werden konnte.

Auf das Phänomen einer längerfristigen Temperaturbeeinflussung durch den Bohrvorgang weist auch G. BUNTESARTH (1980) hin. Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang auch Aussagen von Seiten der Stadtgemeinde Radkersburg, nach denen bei höheren Förderungen bereits Ausflußtemperaturen um 24°C gemessen werden konnten. Diese Temperatur liegt somit um 2,5°C höher als die anlässlich der Befahrung ermittelte, scheinbare Formationstemperatur am Aquifertop.

Aufschluß über die tatsächlichen geothermischen Verhältnisse an der Beckenbasis könnte nur eine neuerliche Messung an der Tiefbohrung bringen.

Als Vergleich zum T-Log der Tiefbohrung Radkersburg sind in Fig. 11 das Log, das an der Tiefbohrung Waltersdorf gefahren wurde und die aus Arteser- und Sondenmessungen errechnete Tiefenstufe im Raum Fürstenfeld dargestellt (T. BAUM & H.P. LEDITSKY, 1981). Hieraus geht deutlich hervor, daß die aus den nur oberflächennahen Messungen ermittelte geothermische Tiefenstufe in diesem Falle ohne weiteres

Fig. 11. Temperature in the bottom of the borehole (1) and at the surface (2) during the drilling of the borehole (3) and during the drilling of the borehole (4). The temperature in the borehole (1) and at the surface (2) during the drilling of the borehole (3) and during the drilling of the borehole (4).



gegen die Tiefe extrapoliert werden kann.

Das an dieser Tiefbohrung bis in eine Tiefe von 678 m gefahrene Log zeigt hier eine Temperatur von $43,9^{\circ}\text{C}$, einen Wert, also, der auch auf der errechneten Regressionsgeraden der in diesem Raum ermittelten Basistemperaturen der Artesischen Brunnen liegt. Weiters ist von dieser Tiefbohrung die Ausflusstemperatur von ca. 61°C bekannt. Bei einer sicher vorhandenen Abkühlung entlang der 1100 m langen Aufstiegsstrecke von mehreren Celsiusgraden sollte auch die tatsächliche Aquifertemperatur etwa auf dieser Regressionsgeraden zu liegen kommen. Es sei darauf hingewiesen, daß das T-Log in Waltersdorf erst ein Jahr nach dem Aufbohren der Zementbrücken an der alten Erdölprospektionsbohrung in einer Hickeypflüg gefahren wurde. Die gemessenen Temperaturen müßten demnach also auch den tatsächlichen Formationstemperaturen entsprechen.

Nur knapp neben der Thermalwasserbohrung Radkersburg 2 existiert die alte Bohrung Radkersburg 1 der Wintershall AG., aus der das "Longlife" Mineralwasser erschöpft wird. Geophysikalische Bohrlochmessungen von H. SCHMOLLER (1981) ergaben einen Aquifer in 200 - 206 m Tiefe. Ein zu aufsteigenden Artessr gefahrenes T-Log zeigt, daß die Aquifertemperatur ca. 19°C beträgt und sich das Wasser während seines Aufstieges um ca. 1°C abkühlt.

Aufgrund der fehlenden genaueren Temperaturangaben (nur ganze Grade) ist die aus der Basistemperatur in Verbindung mit einer angenommenen Lufttemperatur von $10,3^{\circ}\text{C}$ errechnete geothermische Tiefenstufe geringfügigen Streuungen unterworfen. Sie müßte sich aber etwa im Bereich zwischen 20 und $22 \text{ m}/^{\circ}\text{C}$ bewegen.

Eingegen würde sich aus der in 1788 m gemessenen Wassertemperatur der Tiefbohrung Radkersburg 2 eine, aus den bereits erwähnten Gründen allerdings problematische geothermische Tiefenstufe von ca. $25 \text{ m}/^{\circ}\text{C}$ errechnen.

1.4. Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse der Temperaturmessungen

Tab. 6 gibt eine Übersicht über die aufgrund der durchgeführten Prospektionsmethoden ermittelten Rechenwerte. Daraus resultiert eine mittlere

Tab. 6: Ermittlung der geothermischen Tiefenstufe durch Temperaturmessungen an sechenden Wasserzäulen im Vergleich zur Regression der Basistemperaturen in 7 artesischen Brunnen

Meßstelle	O. r. z.	Datum	Zur Berechnung herangezogene Tiefenbereich (m)	geotherm. Tiefenstufe (m/°C)	Gradient (°C/100m)	Korrelations- koeffizient r	theoret. Ober- flächentemp. °C	Berechnete Temperatur für eine Tiefe von 1728 m (Top Aquifer Radonburg)
S. 1	Interporkla	9.10.81	16 - 43	18,7	5,35	0,998	9,91	106
S. 2	Mülldeponie Halbenrain	9.10.81	20 - 36,5	20,2	4,88	1,000	8,77	96
T9 Radonabg.	Kurpark Radonaburg	10.4.28	15 - 120	18,8	5,32	0,999	10,63	106
666	Arteser Siedling	27.1.81	38 - 63	19,2	5,20	0,997	10,49	103
661	Arteser Zehmsdorf	27.1.81	13 - 25	18,7	5,36	0,991	10,57	106
7 Ar- tiser	---	---	29 - 119,5	18,2	5,49	0,999	10,26	108
Mittel- wert	---	---	---	19,0	5,26	---	10,1	104

geothermische Tiefenstufe von $19 \text{ m}^{\circ}\text{C}$ bei einer gemittelten Oberflächentemperatur von $10,1^{\circ}\text{C}$. Bezogen auf den Aquifertop der Therme Radkersburg in 1788 m Tiefe ergäbe dies eine Formationstemperatur von 104°C .

Die Differenz zur durch das Tiefenlog gemessenen Aquifertemperatur beruht:

- a) auf den schon erwähnten Gründen betreffend den Zeitpunkt der Messung und
- b) auf der Tatsache, daß die Extrapolation von Temperaturmessungen aus den obersten 120 m der Erdkruste auf große Beckentiefen, bedingt durch inhomogenen Sedimentaufbau, unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der Gesteine, etc., naturgemäß mit einigen Fehlern behaftet sein muß.

Der errechnete Wert von $19 \text{ m}^{\circ}\text{C}$, der auch im Raum Fürstenfeld (T. HÄRM & H.F. LEDITZKY, 1981) ermittelt wurde, scheint aus den obengenannten Gründen für eine Hochrechnung auf große Tiefen etwas zu günstig, die aus dem T-Log der Therme Radkersburg ermittelte geothermische Tiefenstufe von $25 \text{ m}^{\circ}\text{C}$ hingegen wiederum zu hoch zu sein.

Praktische Erwägungen in Bezug auf Erschötungsmöglichkeiten von Thermalwasser im Verwaltungsbezirk sollte daher eine geothermische Tiefenstufe von etwa $22 \text{ m}^{\circ}\text{C}$ zugrunde gelegt werden.

3.5. Die Anwendung von chemischen Geothermometern für die Berechnung von Primärtemperaturen im Untergrund (J.E. GOLDBRUNNER)

Methodische Voraussetzungen

Die Löslichkeit der Minerale und ihre Abhängigkeit von der Temperatur bilden die Grundlage für die Anwendung von chemischen Geothermometern. Das in das Gestein eindringende Wasser verändert seine Beschaffenheit durch Lösung in Anlehnung an seine neuen Umgebungsverhältnisse, bis ein Gleichgewicht (Equilibrium) Gestein-Wasser erreicht wird. Die Einstellung dieses Gleichgewichtszustandes wird jedoch neben der Temperatur noch durch zahlreiche andere Faktoren wie die Durchlässigkeit des Aquifers, die Kontaktzeit Wasser-Gestein und die Fließgeschwindigkeit gesteuert.

D.E. WHITE (1970) hat die allgemeinen Bedingungen für die Anwendung von Geothermometerberechnungen folgendermaßen zusammengefaßt:

1. Auftreten von temperaturabhängigen Reaktionen und das ausreichende Vorhandensein der für die Interpretation herangezogenen Inhaltsstoffe.
2. Einstellung eines Gleichgewichts zwischen Gestein und Wasser.
3. rasches Fließen des Wassers vom Tiefenaquifer zur Oberfläche.
4. Erhaltung der chemischen Zusammensetzung des Wassers während des Fließens.
5. keine Verdünnungseffekte durch Mischung mit anders mineralisierten Lösungen.

Die Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen an Tiefenwässern des oberösterreichischen Alpenvorlandes (J.G. NITL & J.E. GOLDBRUNNER, 1980) und des Steirischen Beckens (H.P. LEDITZKY, 1981) haben gezeigt, daß nur jene Geothermometerberechnungen, basierend auf dem Gehalt an SiO_2 in wässrigen Lösungen, relevante Ergebnisse zur Abschätzung der Untergrundtemperaturen liefern. Alle anderen Wasserinhaltsstoffe (vor allem die Kationen) unterliegen während der Migration der Wässer Veränderungen, die ihre Heranziehung für thermische Berechnungen unmöglich machen.

Der SiO_2 -Geothermometer

Die Berechnung des SiO_2 -Geothermometers basiert auf der Löslichkeit von Quarz im Wasser und erfolgt nach der empirisch ermittelten Gleichung von A.H. TROESDELL (1976):

$$T_{\text{SiO}_2} (^{\circ}\text{C}) = \frac{1315}{5,205 - \log_{\text{SiO}_2}} - 273,15$$

Die Konzentration an SiO_2 geht als ppm (bei geringmineralisierten Lösungen entspricht dies der Angabe in mg/l) in die Gleichung ein.

Eine bedeutende Unsicherheit bei der Berechnung der Geotemperaturen stellt das Vorhandensein von amorpher Kieselsäure (hydratisierte und dehydratisierte Silizium-Gele, silikatische Gläser und Sinter, Opal, Mornatin, Gerüstsubstanzen von Organismen; R. SIEVE, 1942) im Sediment dar, welche eine bedeutend höhere

Löslichkeit als der Quarz besitzt und so bei Anwendung des Quarzgeothermometers zu hohe Reservoirtemperaturen anzeigt.

Außerdem stellt sich das Quarz-Wasser-Equilibrium erst bei hohen Reservoirtemperaturen ein (W.A. MAHON, 1966, zitiert in D.E. WHITE, 1970). Dadurch ist die Geothermometerberechnung bei oberflächennahen artesischen Wässern des Steirischen Beckens und des oberösterreichischen Alpenvorlandes nicht anwendbar.

Aufgrund dieser einschränkenden Vorbedingungen ergeben sich relevante Ergebnisse nur bei tieferliegenden Thermalwässern, wie auch Fig. 12 zeigt, in der die SiO_2 -Gehalte ausgewählter Wässer des Steirischen Beckens und des oberösterreichischen Alpenvorlandes den Austritts- bzw. Aquifertemperaturen gegenübergestellt wurden (Daten der Wässer in Tab. 7).

Tab. 7: Hydrogeologische Angaben von in Fig. 12 dargestellten Wässern

Probe Nr.	Tiefbohrung	Tiefenlage des Aquifers	Stratigraphie
1	Waltersdorf	850 m	Garnat
2	Bad Schallerbach	460 m	Oligozän (Egerien)
3	Loipersdorf	1190 m	Badenien
4	Birnbach	1600 m	Malm
5	Funning	1050 m	Malm
6	Walterdorf	1100 m	Devon
7	Reichersberg	1600 m	Malm
8	Bad Radkersburg	1800 m	Trias
9	Geinberg	2200 m	Malm

Die Kurve für das Quarz-Wasser-Equilibrium trennt im Diagramm einen Bereich der Quarz-Untersättigung (links) von jenem der Übersättigung an Quarz. Dabei fällt auf, daß die Probe aus dem Malm von Birnbach quarzuntersättigt ist, während bei der Probe Geinberg (Malm) eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Aquifertemperatur und Geothermometer-Berechnung festzustellen ist.

Auch bei der Tiefbohrung Radkersburg lassen einige Beobachtungen (z.B. Oberflächenprospektion durch seichte Sonden, Berücksichtigung der Abkühlung während des Aufstieges des Wassers mit großen Mengen von CO_2) die berechnete Geothermometer-Temperatur (96°C) durchaus relevant erscheinen.

Alle übrigen Wässer zeigen eine Quarz-Übersättigung. Dies läßt zwei Interpretationsmöglichkeiten zu: entweder ist die Übersättigung an Quarz auf die Lösung von amorpher Kieselsäure zurückzuführen, wobei alle Wässer einer Re-Equilibration mit Quarz ausreihen (dies zeigt die Übersättigung an amorpher Kieselsäure, die eine bedeutend höhere Löslichkeit als Quarz besitzt, wie die Löslichkeitskurve in Fig. 13 zeigt), oder die Wässer (besonders die Proben Reichenberg, Flössing und Waltersdorf) stehen mit Quarz bei einer höheren Temperatur im Gleichgewicht (angedeutet durch die Pfeile in Fig. 12). Aufgrund der Stabilität des kristallisierten SiO_2 in der Lösung kommt es im Zuge der Abkühlung des Wassers während der Migration zu keinen Ausfällungen. Diese hydrogeologische Interpretation ist besonders bei den Wässern der Tiefbohrung Flössing und Waltersdorf plausibel, welche beide an Bruchstörungen in relativer Hochlage zu in die Tiefe versetzten Schollen liegen (vgl. Tiefe des Grundgebirges in der Bohrung Waltersdorf 1 und in der Bohrung Klamm 1/1 a).

Diese Interpretationen mögen etwas theoretisch klingen, doch deutet sich an, daß bei Vorliegen eines größeren Datenmaterials hydrogeologische Aussagen aufgrund von chemischen Geothermometerberechnungen sicherlich möglich sind.

4. Die Therme Radkersburg

4.1. Allgemeines

In der Zeit vom 16.9.1977 - 10.1.1978 wurde die Thermalwasserbohrung Radkersburg 2 bis in eine Tiefe von 1930 m niedergebracht. Hierbei wurden folgende Formationen durchdringt:

0	bis	507 m	Sarmatien
507	bis	1226 m	Badenien
1226	bis	1556 m	Karpatien
1556	bis	1778 m	Helvet im engeren Sinn
1778	bis	1885 m	Mesozoikum
1885	bis	1930 m	Paläozoikum

Bei den ab 1778 m überraschend angefahrenen mesozoischen Schichten handelt es sich nach H. KOLLMANN (1980) um Triasdolomite und Verfenster Schichten, die erst durch keine andere Tiefbohrung im oststeirischen Becken aufgeschlossen wurden.

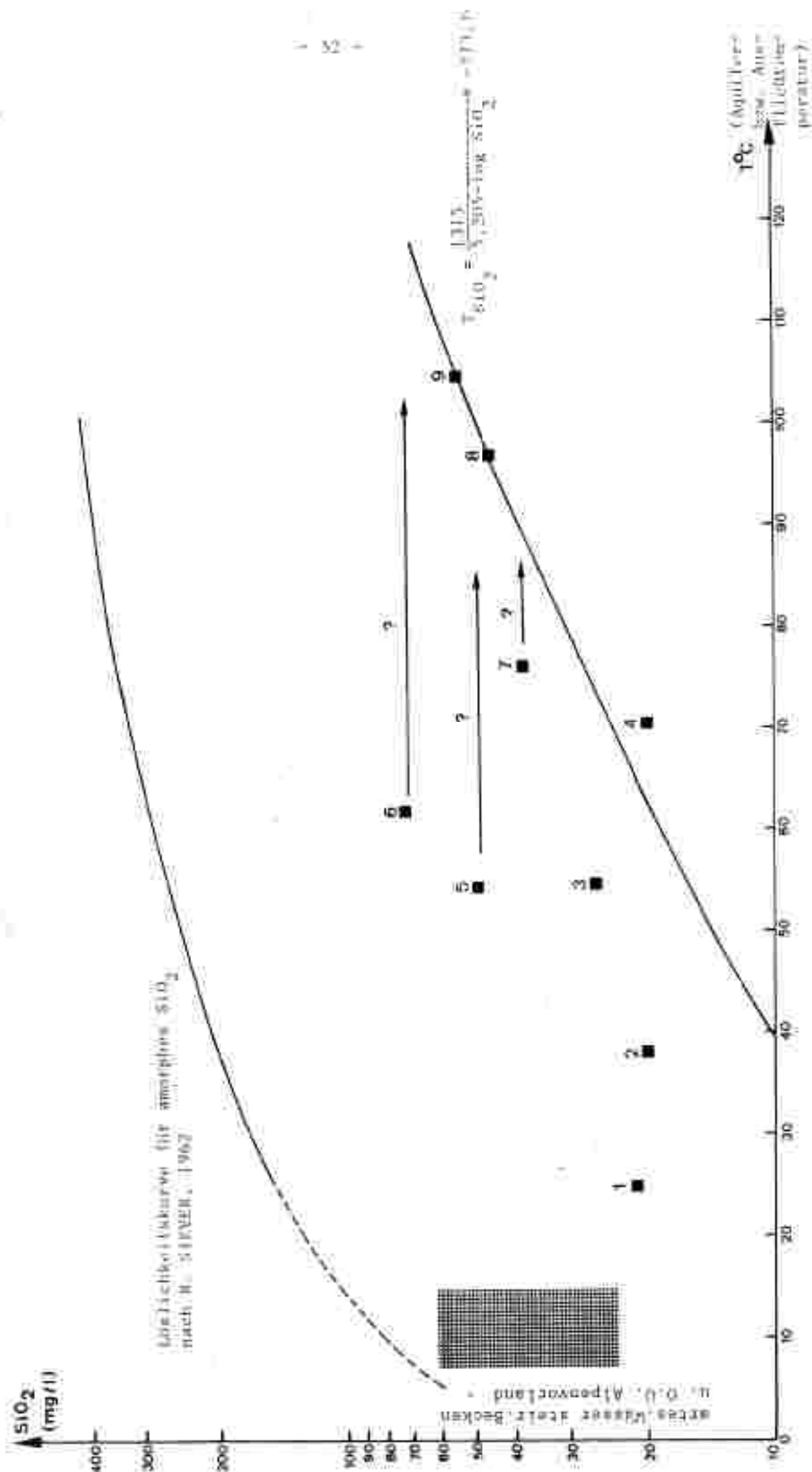


Fig. 12) Die Beziehung zwischen SiO_2 -Gehalt und Aquifer- bzw. Ausflusstemperatur ausgewählter Minerale des Rauris-Beckens und des oberkarpathischen Alpenvorlandes (vgl. Tab. 7).

Auf den wahrscheinlichen Zusammenhang mit Mesozoikum in Ungarn und Jugoslawien wurde bereits in Kap. 1.2. hingewiesen.

Das liegende Paläozoikum wurde wie in allen anderen Bohrungen im südlichen steirischen Tertiärbecken in einer phyllitischen Fazies angetroffen.

Der Triasdolomit stellte sich als ein ausgezeichnete Aquifer heraus, weshalb die Bohrung bis zum Dolomitkop in 1758 m durchgehend verrohrt wurde. Zwei weitere, angeblich bedeutende Aquifere zwischen 600 und 650 m (Fein- bis Grobkies) und zwischen 1000 und 1100 m (Sandstein), beide im Badenien, wurden nicht getestet.

Der maximale freie Überlauf wird von Seiten der Stadtgemeinde Bad Radkersburg mit ca. 70 l/s angegeben. Aufgrund einer Auflage der Herstellerfirma darf eine bestimmte Durchflußgeschwindigkeit in den Hagustavohren nicht überschritten werden, weshalb die Entnahme auf 27 l/s bei einem Eigendruck von 17 bar gedrosselt ist. Die Ausflusstemperatur beträgt zur Zeit 78°C.

4.2. Zur Genese des Thermalwassers aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung

Wie aus Tab. 8 ersichtlich ist, handelt es sich bei dem erschoteten Thermalwasser um einen hochmineralisierten Natriumhydrogencarbonat-Typ, dessen Gehalt an freiem CO_2 am Bohrkopf mit 770 mg/l knapp unter der Bauerwassergrenze (1.000 mg/l) liegt. Da das Wasser während seines Aufstieges einer Entgasung unterworfen ist, ist anzunehmen, daß der Gehalt an freiem CO_2 im Aquifer bedeutend höher liegt. In Beil. 4 wurde daher dieses Thermalwasser in die Gruppe der Sauerlinge eingeordnet.

Neben den in Tab. 8 angeführten Ionengehalten wurden noch Spuren von Bor, Strontium, Barium, Mangan, Arsen und Zink gefunden.

In gedrosseltem Zustand treten pro Minute 885 ml Gas frei aus. Wie die Analyse zeigt, setzt sich dieses Quellgas zu 99,8% aus Kohlendioxyd zusammen, der Rest teilt sich auf Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff, Stickstoff und Edelgase auf.

Der Radiumgehalt liegt mit 1,3 Bq/kg über der gesetzlich erlaubten Höchstmöglichen Konzentration für Trinkwasser.

Tab. 8: Ausgabemuster des untersten Einkommensbereichs in Prozent

[illegible]

no. to indicate: no treatment.

Tab. 8 zeigt die wichtigsten chemischen Parameter des Radkersburger Thermalwassers im Vergleich zu anderen Tiefenwässern des oststeirischen Tertärbeckens sowie zum Thermalwasser aus der 2200 m tiefen Bohrung Vasvár, die vermutlich den selben triadischen Dolomitaquifer aufschneidet und zu einem charakteristischen gespannten Grundwasser aus dem Poppendorfbachtal.

Hierbei ist der hohe Na^+ - und vor allem der extreme HCO_3^- -Gehalt des Radkersburger Thermalwassers auffallend.

Da das Wasser aus einem Dolomitaquifer erschroten wird, entspricht die chemische Zusammensetzung in keiner Weise dem des Speichergesteines. Würde dieses Wasser sein Chemismus in den Dolomiten aufgeprägt, müßte sich aufgrund der hohen Löslichkeit von Calcit und Dolomit in Verbindung mit der freien Kohlensäure ein Wasser vom Ca^{++} -, Mg^{++} -, HCO_3^- -Typ gebildet haben. Thermalwasser mit solchen Mineralisationen werden aus den triadischen Dolomiten auf ungarischer Seite erschroten, wie am Beispiel der Tiefbohrung Vasvár zu sehen ist (Tab. 8). Somit ist der Schluß gerechtfertigt, daß der Dolomitaquifer nur als Speichergestein fungiert, in welches in ihrem Chemismus bereits vorgeprägte Wasser migrieren.

Bezüglich der hohen Na^+ - und HCO_3^- -Konzentrationen zeigt das Wasser eine Verwandtschaft mit den gespannten Grundwässern des Poppendorfbachtales, deren Einzugsgebiet in den Vulkaniten um Kisch und Gleichenberg zu suchen ist (s. Kap. 2.4.). Eine Alimentation des Dolomitaquifers aus den Vulkaniten erscheint somit durchaus denkbar.

Im Gegensatz zu den Tiefenwässern aus den Bohrungen Waltersdorf und Binderberg tritt bei der Therme Radkersburg der sehr hohe SO_4^{--} -Gehalt hervor. Dies ist auf den Einfluß evaporitischer Ablagerungen zurückzuführen, die in den durchbrachten Werfener Schichten (nach K. KOLLMANN, 1980) oder in ihnen stratigraphisch liegendem vorhanden sein könnten.

Ein Vergleich der Na^+ - und HCO_3^- -Werte der aus dem Oststeirischen Becken erschrotenen Thermalwasser zeigt, daß der Chemismus der Therme Radkersburg am ehesten mit Binderberg I (Lolpersdorf) vergleichbar ist. Auch hier fällt sofort die Nähe zu den Vulkaniten auf, die entlang der Südburgenländischen Schwelle angeordnet sind. Außerdem deutet hier der hohe Cl^- -Gehalt auf einen hochmarinen Einfluß hin, der sich in einem Aquifer innerhalb des Basentons zwangsläufig ergibt.

Durch die Tiefbohrung Radkersburg 2 wurden triadische Dolomite angetroffen, die mit großer Wahrscheinlichkeit die westliche Fortsetzung des großen mesozoischen Zuges darstellen, der die Ungarische Tiefebene mit SW-NE-Streichen im Beckenuntergrund durchzieht. Auf österreichischer Seite reichen diese Dolomite bis knapp nördlich Halbenrain (freundliche mündliche Mitteilung von A. KROLL, 1982); sie keilen demnach gegen die Südburgenländische Schwelle hin aus. Der Dolomit stellt, wie die große Schüttung der Thermalwasserbohrung beweist, einen ausgezeichneten Aquifer dar.

Das Wasser der Therme Radkersburg wird ebenso, wie eine größere Anzahl von Thermalwässern auf ungarischer Seite (z.B. Tiefbohrung Vasvár, Tab. 8) aus diesem triadischen Dolomitaquifer erschrotet; dennoch zeichnet sich das Radkersburger Thermalwasser durch eine völlig andere geartete chemische Zusammensetzung aus. Zwar kann ein hydraulischer Kontakt und ein durchgehender Aquifer durchaus vorhanden sein, die charakteristische Mineralisierung erhält das Thermalwasser dieser Bohrung Radkersburg 2 aber sicher nicht in diesem Dolomitaquifer aufgeprägt.

Für die Genese des Thermalwassers aus der Tiefbohrung Radkersburg 2 kann aufgrund der chemischen Zusammensetzung desselben vorläufig folgendes Denkmodell konstruiert werden:

1. Das erschrotete Thermalwasser muß aufgrund seines hohen Na^+ - und HCO_3^- -Gehaltes mit Vulkaniten in Zusammenhang gebracht werden, die ihm seine charakteristische chemische Zusammensetzung prägen. Solche Wasser migrieren in den Dolomitaquifer, kommen hier mit Evaporiten in Kontakt und werden mit SO_4^{++} angereichert.
2. Somit ist anzunehmen, daß der Triasdolomit in erster Linie von Wässern aus Vulkaniten alimentiert wird. Die Frage, ob diese Vulkanite in direktem Kontakt mit dem Mesozoikum stehen, oder ob tertiäre Lockersedimente zwischengeschaltet sind, kann vorerst nicht geklärt werden.
3. Aufgrund der Lage der Südburgenländischen Schwelle, die SW-NE über Weixelbaum - Radochan nach St. Anna streicht, ist ein Abströmen des Wassers gegen S bis SE in die Senke um Radkersburg denkbar.

L I T E R A T U R

- BRAUNMÜLLER, E. & KRÖLL, A.: Erdölgeologie.-Erdöl-Erdgas 2., 98, 153-160, Hamburg-Wien 1980.
- CASLE, W.: Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. Geologie, Chemismus, Genese.-643 S., Abb., Tab., Stuttgart (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft) 1975.
- DANK, V. & IRÁNYITASAVAL, F. J.: Geological map of the palaeozoic and mesozoic basement of Hungary 1 : 500 000.-Hungarian Geological Institute, Budapest 1967.
- FABIANI, E.: Grundwasseruntersuchungen im unteren Murtal.-Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 39, 1-94, 27 Abb., 23 Taf., Graz 1978.
- FIEGEL, H. & HERITSCH, H.: Das Steirische Tertiärbecken.-Sammlung geol. Führer, 47, 2. Aufl. 196 S., 27 Abb., 8 Taf., 1 Kr., Geb. Kornträger, Berlin-Stuttgart 1968.
- FORBERGER, K. & METZ, K.: Magnetische Bodenforschungen im Gebiet zwischen Leibnitz und Radkersburg.-Berg- & Hüttenw. Ms., 87, 61-66, 1 Abb., Wien 1939.
- FRICKE, K.: Stellungnahme zur Frage der Möglichkeiten einer CO₂-Gas-Gewinnung im Grenzgebiet Österreich-Ungarn (Burgenland).-Unveröff. Ber., 13 S., 1 Ur., Krefeld 1972.
- GAMMETH, H., KNAPP, G., MOLMER, H. & KRAINER, H.: Zur Verteilung einiger Spurenelemente in artesischen Wässern des Steirischen Tertiärbeckens.-Steir. Beitz. z. Hydrogeologie, 25, 127-138, Graz 1973.
- GAGLIARDI, E. & RABER, J.: Die Thermalquelle Loipersdorf I.-Unveröff. Ber., 28 S., 2 Abb., Graz 1976.
- GAGLIARDI, E. & RABER, J.: Die Therme Waltersdorf.-Unveröff. Ber., 28 S., 2 Abb., Graz 1978.
- HAUSER, A. & KAPODINEK, J.: Das Vulkangebiet Kurock-Merane (Stmk.).-Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 83, 64-68, Graz 1953.
- HARUN, T. & LEDITZKY, H. P.: Der geothermische Gradient im Raume Fürstenfeld.-In: Studie zur Erschließung und Nutzung geothermaler Energie für Fernheizung und Wasserbelieferung der Stadt Fürstenfeld, 7-26, 12 Abb., 2 Tab., Unveröff. Ber. FZ Graz, Graz 1981.
- HERITSCH, H., BOMSCHUTZKY, J. & SCHUCHLENZ, H.: Zwei vulkanische Gesteine aus den Tiefbohrungen von Mitterlabill, östlich von Wildon und von Walkersdorf, südlich vom Ilz (Stmk.).-Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 95, 104-114, 6 Tab., Graz 1965.
- HERITSCH, H.: Vulkanite aus den Tiefbohrungen von St. Nikolai, Wiersdorf und St. Peter, Oststeiermark.-Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 109, 29-32, 4 Abb., 1 Tab., Graz 1979.

- HUBER, H.: Thermo Bad Radkersburg. - 10 S., Unveröff. Ber., Graz 1978.
- KAVCUNEC, J.: Zusammenfassender Bericht über die Tiefbohrung Ferbersdorf 1. - Unveröff. Ber., 39 S., Wien 1954.
- KOLLMANN, K.: Die Österreichischen Erdöl- und Erdgasprovinzen, Kap.: Steiermark und Südburgenland. - In: BACHMAYER, F. (Hrsg.): Erdöl und Erdgas in Österreich. - 216-223, 2 Abb., 1 Tab., Naturhistorisches Museum Wien und P. Berger, Horn, Wien 1980.
- LEDITZKY, H.P.: Geologische und morphologische Bearbeitung des Unteren Murtales (Landscha-Radkersburg). - Unveröff. Gutachten, Amt der Steierm. Landesregierung, Fachabteilung IIIa-Hydrographische Landesabteilung, Graz 1972.
- LEDITZKY, H.P.: Ergänzungen zum Endbericht über die Geothermiestudie im mittleren Burgenland, Schwerpunkt Oberpullendorf - Wärmeflussmessungen. - Unveröff. Ber., Forschungszentrum Graz, 15 S., Graz 1981 a.
- LEDITZKY, H.P.: Detailuntersuchungen über die geothermischen Verhältnisse im Raum Stegersbach. - Unveröff. Ber., Forschungsgesellschaft Joanneum, 43 S., 21 Abb., 1 Tab., Graz 1981 b.
- SCHMÖLLER, R.: Geophysikalische Bohrlochmessungen-Radkersburg I. - Unveröff. Gutachten, 5 S., Leoben 1981.
- SCHNITZE, A.: Hydrologische Studie zur Genesis der Heilquellen von Gleichenberg-Berg. - Berg- u. hüttenm. Mh., 97, 185-192, 1 Abb., Wien 1952.
- SIEVER, R.: Silica solubility, 0° - 200°C ., and the diagenesis of siliceous sediments. - J. Geology, 70, 127-150, 1 Abb., 1 Tab., Chicago 1962.
- TOPERCZER, M.: Die erdmagnetische Anomalie von Wundschuh. - Sitz.-Ber. Akad. Wiss.-math.-naturwiss. Kl. Abt. 2, 156, 383 - 391, Wien 1947.
- TRUESDELL, A.H.: Summary of Section III, Geochemical techniques in exploration, - Proc. 2nd U.S. Symp. on the Development and use of Geothermal Resources, San Francisco, Vol. San Francisco 1975.
- WHITE, D.R.: Geochemistry Applied to the Discovery, Evaluation and Exploitation of Geothermal Energy Resources. - U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Vol. 1, 38-80, 3 Abb., 4 Tab., Pisa 1970.
- WINKLER-HERMANN, A.: Zur Beurteilung der Mineralquellen-Situation im Bereich Sichelhof - Radkersburg. - Unveröff. Gutachten, Graz, Datum unbekannt.
- ZÖTL, J.G. & GOLDBRUNNER, J.I.: Studie zur Erschließung und Nutzung geothermaler Energie; Ermittlung des Standortes einer Geothermiebohrung Braunau (Phase 1). - Unveröff. Ber., 63 S., Abb., Tab., 2 Beil., Graz 1980.
- ZOGER, H.: Hydrogeologische Beurteilung eines Mineralwasservorkommens in der MG Hart, BR Radkersburg, zur Nutzung durch die Brauereiverwaltungsgesellschaft Deutsch Goritz, Kern & Co. GKG. - Unveröff. Gutachten, 15 S., 2 Abb., Graz 1977.

4. Ein Großteil der Jungtertiären Vulkanite wird von Lockersedimenten überlagert. Da in letzteren zahlreiche Aquifere ausgebildet sind, ist ein hydraulischer Kontakt der Vulkanite mit diesen wahrscheinlich. Daraus würde sich ein ausreichend großes Einzugsgebiet ergeben, das die große Ergiebigkeit des Dolomitaquifers erklären könnte.

5. Ausblicke auf die Nutzung geothermaler Energie im Verwaltungsbezirk Radkersburg

Für den gesamten Bereich des Verwaltungsbezirkes Radkersburg können einheitliche geothermische Verhältnisse angenommen werden, wobei praktischen Erwägungen in Bezug auf Erschötmungsmöglichkeiten von Thermalwasser eine geothermische Tiefenstufe von 22 m/°C zugrunde gelegt werden kann.

Bei der Thermalwasserbohrung Radkersburg 2 wurden zwar innerhalb der tertiären Beckenfüllung angeblich bedeutende Aquifere angetroffen (zwischen 600 - 850 m und 1.000 - 1.100 m), doch hat die Erfahrung gezeigt, daß im allgemeinen die klastischen Tertiärsedimente nicht für die Erschötmung wirtschaftlich nutzbarer Wassermengen geeignet sind.

Als Kriterium für eine Erschötmung von Thermalwasser verbleiben somit die Beckentiefe und die lithologische Ausbildung des vortertiären Grundgebirges.

Die Südburgenländische Schwelle, die über Weixelbaum - Radbach - St. Anna streicht, teilt den Verwaltungsbezirk Radkersburg in zwei Teilbecken, deren tieferes an der Südostgrenze des Bezirkes liegt. Somit lassen sich in Bezug auf die Beckentiefe zwei aus geothermaler Sicht interessante Bereiche ausscheiden. Dem westlichen, der etwa im Raum zwischen Pichla, Halßbrunn und Murak liegt, steht ein östlicher zwischen Halßbrunn, Radkersburg und Sichelndorf gegenüber. Während im ersteren Beckentiefen von knapp 2.000 m zu erwarten sind, dürfte in zweiten das Tertiar etwas über 2.000 m mächtig sein, wobei vermutlich das Beckentiefste knapp nördlich von Radkersburg liegt. Ungeklärt ist die geologische Situation im nördlichen Arbeitsgebiet zwischen Bierbaum, Hafstätten, Straden und Trüßing.

Alle westlich der Südburgenländischen Schwelle abgeteufte Tiefbohrungen schlossen das Grundgebirge ausschließlich in Form von paläozoischen Phylliten auf, die in Bezug auf eine Wasserführung sicher negativ zu beurteilen sind.

Demgegenüber lagern im östlichen Teilbecken unter dem Tertiar triadische Dolomite, die gegen die Südburgenländische Schwelle hin auskeilen.

Zweifelloos stellt der Verbreitungsbereich dieser mesozoischen Karbonatgesteine im südöstlichsten Teil des Bezirkes Radkersburg mit der nordwestlichen Grenze bei Halbesrain infolge des beachtlichen Wassergebietes eine geothermische Günstzone dar, in der bei Beckentiefen zwischen 1.800 m und 2.000 m Thermalwasser von ca. 75 - 90°C in noch wirtschaftlich interessanten Mengen erschötet werden kann.


Dr. H.P. Leditzky
Projektleiter


Dr. H. Zoja
(Stellv. Institutsleiter)

K u r z f a s s u n g

Die vorliegende Studie "Untersuchung der geothermischen Verhältnisse im Verwaltungsbezirk Radkersburg" wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (Vertrag vom 28.11.1980, Az. 44.300/St/2-24/80) durchgeführt.

Geologisch gesehen liegt ein Großteil des Untersuchungsgebietes im Bereich des "Enns Beckens", einem durch die Sausaltschelle im W und die Südburgenländische Schelle im E begrenzten Teiltrog des oststeirischen Tertärbeckens. Aufgrund mehrerer Erdöl erkundungsbohrungen ist der Aufbau der tertären Beckenfüllung sowie die Tiefenlage und lithologische Ausbildung des prätertiären Grundgebirges in groben Zügen bekannt. Letzterer wurde ein Hauptaugenmerk geschenkt, da die klastischen Sedimente des Tertiäre - wie die bisherigen Erfahrungen zeigen - kaum für eine wirtschaftliche Erschötung von Thermalwasser geeignet sind.

Im wesentlichen wird das Untersuchungsgebiet durch die Südburgenländische Schelle, die entlang der Linie Weizelbaum - St. Anna am Aigen verläuft, in zwei Teilbecken gegliedert. Im Bereich des westlichen bis zu 2.000 m tiefen Trogs schlossen alle abgeteufte Tiefbohrungen paläozoisches Grundgebirge in phyllitischer Fazies auf, wodurch dieser Raum aufgrund fehlender oder mangelnder Wasserführung für eine geothermale Nutzung als ungünstig erscheint.

In der östlich der Südburgenländischen Schelle gelegenen Senkungszone ist mit Tertärmächtigkeiten bzw. Beckentiefen bis zu 2.100 m zu rechnen. Das vor-tertiäre Grundgebirge besteht in diesem Bereich aus mesozoischen Dolomiten, bei denen es sich höchstwahrscheinlich um die Fortsetzung eines über 100 km breiten mesozoischen Zuges handelt, der die Ungarische Tiefebene mit SW-NE-Streichen in Beckenuntergrund durchzieht und nördlich des Plattensees aus der Tertärbedeckung auftaucht. Diese durch die Thermalwasserbohrung Radkersburg 2 in 1788 m aufgeschlossenen Triasdolomite stellen ein ausgezeichnetes Speichergestein dar, was der maximale artesische Überlauf von etwa 70 l/s bei der Thermo Radkersburg beweist.

Die im Untersuchungsgebiet auftretenden jungtertiären Vulkanite wurden in zwei Phasen gefördert. Die Trachyandesite und Trachyte der miozänen Phase liegen im W bei Landorf und im E im Raum Klöck - Straden in großer flächenhafter Ausdehnung unter der Tertiärbedeckung. Die Basalte, Nephelinbasalte und Nephelinite der pliozänen Phase sind als Schlotfüllungen im E des Untersuchungsgebietes obertägig aufgeschlossen.

Im Zuge der hydrochemischen Untersuchungen wurden an 104 ausgewählten artesischen Wässern die Parameter Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Li^+ , Sr^{++} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{--} und SiO_2 und freies CO_2 bestimmt.

Als Ergebnis sticht eine deutliche Ausbildung von Grundwasserprovinzen hervor. Sowohl im E als auch im W tritt eine Gruppe von hochmineralisierten Natriumhydrogenkarbonatwässern auf, deren Einzugsgebiet in den (sowohl begrabenen als auch obertägig aufgeschlossenen) jungtertiären Vulkaniten zu suchen ist, da die niedrigen Cl^- -Konzentrationen eine Herkunft aus marinen Sedimenten ausschließen.

Ca^{++} -reichere Wässer sind an die marinen Sedimente des Badeniums (Leithakalke im W und im E an brechisch-marine Sedimente des Sarmations (Kalksandsteine) gebunden.

Das Überwiegen von Mg^{++} -reicheren Wässern im E weist auf abgetragene dolomitische Gesteine der Südburgenländischen Schwelle hin.

Bei dem Thermalwasser der Tiefbohrung Radkersburg 2 handelt es sich trotz des dolomitischen Speichergesteines um einen Natriumhydrogenkarbonattypus, was als Hinweis auf die Migration von Wasser aus den jungtertiären Vulkaniten in den Dolomitaquifer zu werten ist. Die auf ungarischer Seite aus dem selben Dolomit ersichteten Thermalwässer zeigen eine völlig andere chemische Zusammensetzung.

Wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen, ist die Aussagekraft der Ausflusstemperaturen artesischer Wässer als Grundlage für die Berechnung der geothermischen Tiefenstufe sehr beschränkt. Es wurde daher erstmals versucht, durch Messungen der Basistemperaturen an artesischen Brunnen ein Temperaturidealprofil für den durch diese Bohrungen erschlossenen Bereich der Sedimentabfolge

(= 120 m) zu erhalten. Das Ergebnis war eine praktisch ideale lineare Korrelation der Parameter Tiefe und Temperatur. Da die Meßpunkte über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sind, müssen im Verwaltungsbezirk Badkersburg relativ einheitliche geothermische Verhältnisse herrschen.

Der Vergleich mit Temperaturlogs an stehenden Wasserschloten zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Als Mittelwert aus allen Rechenwerten ergibt sich für das Untersuchungsgebiet eine geothermische Tiefenstufe von $19 \text{ m}^{\circ}\text{C}$.

Aufgrund der Synthese aller Untersuchungsergebnisse kristallisiert sich der Senkungsraum im südöstlichen Teil des Verwaltungsbezirkes sowohl von der Beckentiefe als auch von der lithologischen Ausbildung des prätertiären Untergrundes als geothermisches Gunstgebiet heraus. Die in diesem östlichen Teil-Becken lagernden triadischen Dolomite stellen einen ausgezeichneten Aquifer dar, aus dem bei Beckentiefen zwischen 1800 m und 2000 m Thermalwasser mit Temperaturen von $75 - 95^{\circ}\text{C}$ in größter Menge erschrotet werden kann. Die nordwestliche Grenze dieses geothermischen Gunstgebietes liegt etwa im Raum Halbenrain.