

Ergebnisse aus dem Heilwasserschutzprojekt im Raum Frantiskovy Lazne, Tschechische Republik

Jaroslav Dvorak¹⁾ und Jiri Krásný²⁾

¹⁾Laboratorien für Naturheilmittel, Frantiskovy Lazne; E-mail: rlplz@c-mail.cz

²⁾Karlsuniversität Praha; E-mail: krasny@natur.cuni.cz

1. Einleitung

Arbeitsgruppe des Umweltbüros GmbH Vogtland - UBV (Daffner – Vossberg et al. 1999) hat ein Zwischenbericht unter dem Titel „Grenzüberschreitender Schutz der Heil- und Mineralquellen im Vogtland in Sachsen und Westböhmen“ mit dem Stand der Kenntnisse zu dem 31.12.1999 bearbeitet. Die Arbeit beschäftigt sich mit dieser Problematik in dem deutschen Teil des Gebietes. Hinsichtlich den engen geologischen, hydrogeologischen and hydrochemischen Zusammenhängen im erforschten Gebiet mit Vorkommen der Heil- und Mineralwässer auf den beiden Seiten der deutsch-tschechischen Grenze war ein Bedarf entstanden eine ähnliche Studie auch auf dem tschechischen Gebiet durchzuführen. Dieser Artikel fasst die Ergebnisse der Studien, die in einem Modellgebiete der Teilen des Cheb-Beckens mit kristallinischer Umgebung in Jahren 2001-2003 durchgeführt wurden, zusammen (Krásný-Dvorak 2003).

Es handelt sich um die kristallinische Einzugsgebiete der Flüsse Weisse Elster und Röthenbach zu grenznahen Kurorten Bad Elster und Radiumbad Brambach, das Fichtelgebirgsgranitmassiv als Einzugsgebiet des anliegenden Teil des Cheb-Beckens und Umgebung des Frantiskovy Lazne in Cheb-Becken (Einzugsgebiet des Slatinka-Baches - Abb. 1). Bei existierenden hydraulischen Zusammenhängen der verschiedenen wasserführenden Systemen und ihre hydrogeologischen Ähnlichkeiten war unentbehrlich viele hydrogeologische Daten in breiteren regionalen Kontext zu interpretieren, besonders die Fragen der Genese der Mineralwässer von s.g. Karlbader Typs. Die Kenntnis deren Genese ist grundsätzlich entscheidend für den Schutz und optimale Ausnutzung dieser Mineralwässer.

2. Geologische Übersicht

Im Arbeitsraum sind zwei hauptgeologische Einheiten vorhanden: Kristallin des Elstergebirges und tertiäre Sedimenten im westlichen Teil des Cheb-Beckens. Kern des **Kristallins** ist vom Fichtelgebirgsgranitmassiv gebildet. Mantel des Fichtelgebirgsmassiv im nördlichen Nachbarschaft (S und SO von Aš) ist vor allem durch mittel- bis grobkörnige Zweiglimmer Orthogneis gebildet. Nördlich von Aš und weiter nach Norden erscheinen im unseren Arbeitsraum nacheinanderfolgend schwach migmatisierte zweiglimmer- bis Biotitparagneise mit Übergängen zu Glimmerschieferparagneisen und weiter bis zum chloritisch-muskovitischen, meistens quarzitischen Glimmerschiefern und phyllitischen Glimmerschiefern.

Nördlichste Teil des tschechischen Gebiet ist durch vogtlandisch-sächsischen Paleozoikum des Kambrium-Ordovik Alters gebildet. Am Kontakt mit Fichtelgebirgs Kristallin befindet sich ca 200-300 m mächtige Lage des Quarzits mit Übergängen zu quarzitischen Phyllit und weiter nach Norden verschiedene Typen von chloritisch-serizitischen Phyllit. Im Süden säumen den Granitmassiv die Phylliten der Arzberg-Serie ein und weiter s.g. Cheb-Phylliten.

Tertiäres Cheb-Becken deckt das Kristallinkomplex auf der Fläche von ca 360 km² über. Es hat asymmetrische Bau mit Absenkung mindestens 450 m entlang der östlicher tektonischer Begrenzung (Mariánské Lázně-Bruch). Mächtigkeit der tertiären Sedimenten erreicht bis 300 m im östlichen Teil des Beckens. Die älteste Sedimenten gehören zur unteren ton-sandigen Schichtenfolge, die vor allem die Depressionen des vortertiären Reliefs überdeckt. Es handelt sich überwiegend um Anschwemmungsmaterial aus verwittertem umliegenden Kristallin. Charakteristisch für diese Schichtenfolge ist häufiger und schneller, vertikaler und horizontaler Wechsel der klastischen Sedimenten von verschiedenen Korngrößen von Tonen über Sände bis zum Schottern, in verschiedener Masse verfestigten. Maximale Mächtigkeit dieser Schichtenfolge erreicht 75 m.

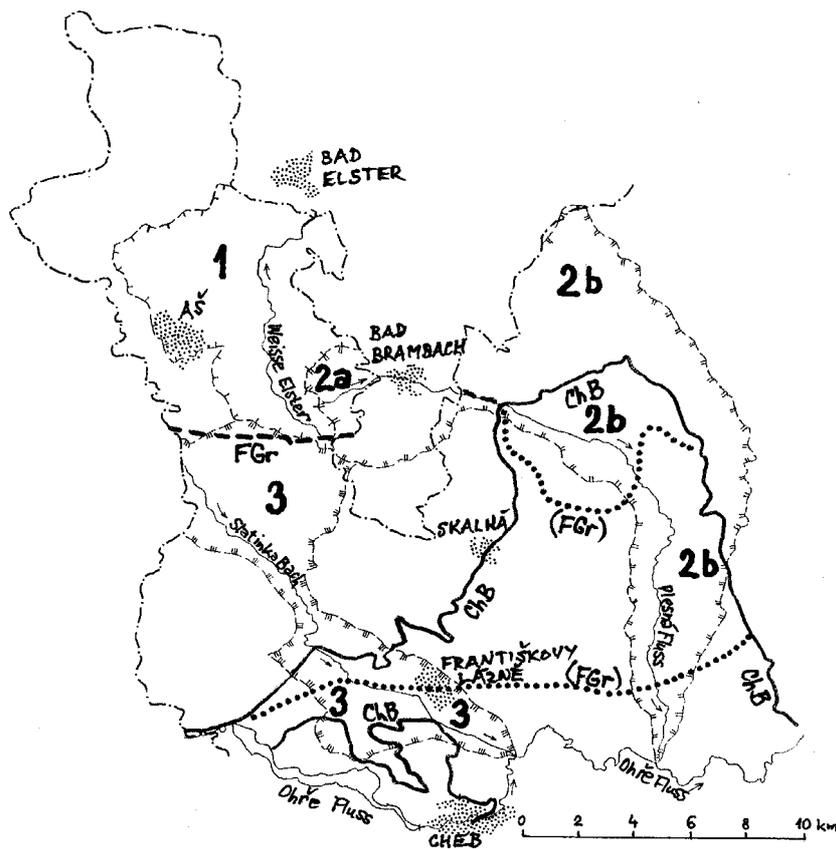


Abb. 1 Der Umfang des Arbeitsraumes und Einzugsgebiete der Flüsse Weisse Elster, Röthenbach + Plesná und des Slatinka-Baches

- 1 - Einzugsgebiet des Flusses Weisse Elster auf dem tschechischen Gebiet
- 2 - Einzugsgebiet der Flüsse Röthenbach (2a) und Plesná (2b) auf dem tschechischen Gebiet
- 3 - Einzugsgebiet des Slatinka-Bach
- ChB - Grenze (Umfang) des Cheb-Beckens
- FGr - Oberflächige Grenze des Fichtelgebirgsgranit
- (FGr) - Angenommene Grenze des Fichtelgebirgsgranit unter den Cheb-Beckenablagerungen

Wesentlich grössere Ausdehnung als untere ton-sandige Schichtenfolge nimmt überliegende Kohleflözserie ein mit Mächtigkeit bis zu 40 m. Diese Einheit enthält häufige und verbreitete zwischenliegende tonige und sandige Einlagerungen.

Flächengemäss weit verbreitet ist s.g. Cyprisserie des Untermiozäns-Alter. Diese Serie ist die mächtigste Einheit in Cheb-Becken und erreicht bis 170 m. Sie ist mit Tonen, Tonsteinen und Tonschiefern gebildet, mit Einlagen von Kalk- und Mergelsteinen und mit Gipsausfüllungen der Spalten. In Randgebieten des Beckens ist Cyprisserie in Sandigen Ufernahefazien entwickelt. Hydrogeologisch wichtig ist die Feststellung das diese Sedimente in dem Milieu des abflusslosen See unter Bedingungen des semi-ariden Klimate entstanden wurden (Buzek – Holý – Kvacek 1996).

Nach dem stratigraphischen Hiats wurde die tertiäre Sedimentation im Cheb-Becken in Pliozene beendet mit Ablagen der oberen sand-tonigen Schichtenfolge, s.g. Vildstejn-Serie, die sich meistens in nordwesten des Beckens ausdehnt. Ihre Mächtigkeit ist veränderlich und erreicht bis um 120 m. Es handelt sich um Wechsel der Sände (und Schotter) mit sandigen und kohligten Tonen. Bei westlichem Rande des Cheb-Becken, schon in Kristallin treten die Produkte der subrezenten vulkanischen Aktivität auf: Basalt und pyroklastisch Hügel des Komorní hurka (Kammerbühl) südlich von Frantiskovy Lazne und Zelezná hurka (Eisenbühl) südlich von Cheb. Das Alter von Kammerbühl nach letzten Messungen ist auf 0,26-0,85 Million Jahren und des Eisenbühls auf 1,0-1,5 Million Jahren geschätzt.

Quartäre Sedimente der älteren Terrassenstufen decken die Tertiäre Sedimente überwiegend in östlichen Teil des Beckens über, wo sie erreichen die Mächtigkeit bis einigen Zehnten Metern. Aus hydrogeologischen Sicht sind die Torflagerstätten in breiteren Umgebung der Mineralquellen (Frantiskovy Lazne und Soos) bedeutsam, die vier bis sechs Meter Mächtigkeit erreichen.

Untergrund des Cheb-Beckens ist in nördlichen Teil durch Fichtelgebirgsgranitmassiv gebildet. In südlichen Teil des Beckens befinden sich die kristallinische Gesteine der Arzberg-Serie und der Cheb-Phylliten.

Cheb-Becken und nahegelegene Kristallin im unseren Arbeitsraum befindet sich in struktur-geologischen komplizierten Lage auf der Kreuzung der zwei Hauptbruchrichtungen, und zwar Erzgebirgischen (SW-NO bis SSW-ONO) und Böhmerwäldischen (NW-SO bis NNW-SSO), im

nördlichen Verlauf mehr NNW-SSO, was gilt auch für unserm Arbeitsraum. Hauptrepresentant in Westböhmen ist Mariánské Lázně Bruchzone, mit einer Reihe der parallelen Störungen. Die beiden tektonischen Systemen haben in grössere Masse die Ausdehnung der sedimentären Ausfüllung des Cheb-Beckens vorbestimmt. Im Detail ist jedoch die Tektonik des Cheb-Beckens wesentlich komplizierter. In dem Gebiet wurden auch weitere geologische Störungen anderer Richtungen identifiziert, von denen ist einigen Störungen auch die Funktion der Aufstiegswege von CO₂ zugeschrieben, hauptsächlich deren die mit neovulkanischen Tätigkeit verbunden sind.

Für Cheb-Becken und seine kristallinische Umgebung ist charakteristisch bedeutende neotektonische Aktivität, hauptsächlich in letzten geologischen Etappe (spät Tertiär bis Quartär), die bis Gegenwart fort dauert in Form der seismischen Aktivität. Diese Äusserungen der seismischen Aktivität deuten an, dass tektonische Entwicklung des Gebietes weiter auf in Zukunft fortsetzen wird. Gegenwärtig äussert sich die seismische Aktivität hauptsächlich im nördlichen des Cheb-Beckens und in Kristallin nördlich und nordwestlich von Cheb-Becken.

3. Hydrogeologische Verhältnisse

Die zwei geologische Grundeinheiten (Krystallin und Cheb-Becken) darstellen auch zwei Grundtypen des hydrogeologischen Milieus.

Nördlicher (NW) Teil des Arbeitsraumes – Flussgebiete von Weisse Elster, von Röthenbach-Fleissenbach-Plesná und NW Teil des Flussgebietes Slatinka-Baches, einschliesslich des Untergrundes des Cheb-Beckens gehört zum **hydrogeologischen Massiv**. Die oberflächennahe Zone der Verwitterungen mit Quartärsedimenten und die Zone der offenen Klüften der Kristallingesteine (Zone der Spaltenporosität) bilden gemeinsam s.g. oberflächenahe Kollektor, welcher entscheidende Bedeutung für Bildung des regional unterirdischen Abflusses (natürliche Grundwasser-Neubildung) und für die lokale Wasserversorgung mit seichten Brunnen und anderen seichten Fassungseinrichtungen (Quellenfassungen) hat. Die Mächtigkeit des oberflächennahen Kollektors, der mehr oder weniger konform mit der Terrainoberfläche durchläuft, ist gewöhnlich bis einigen Zehnten Meter. In Aufschlussgebieten der Kristallingesteine die Verwitterungszone oft kontinuierlich übergeht in Quartäre Sedimente vom ähnlichen hydrogeologischen Charakter.

Die Spaltenzone ist im lokalen Massstab charakterisiert durch bedeutende Anisotropie infolge der unregelmässigen Verteilung von Brüchen, Klüften und Bruchzonen (geologische Inhomogenität), die ganz unterschiedlichen hydrogeologischen Charakter haben können. Das äussert sich mit grosser Variabilität in hydraulischer Leitfähigkeit und Transmissivität. Wie es in anderen Regionen festgestellt wurde, nicht alle geologischen Inhomogenitäten, die durch geologischen und geophysikalischen Methoden in Terrain festgestellt wurden, sind für Grundwasser durchlässig. Spalten- und Klüften Durchlässigkeit in allgemeinem sinkt in geologischen Zeitdimensionen, wenn zu deren Ausheilung und Schliessung kommt. In Spaltenporositätmilieu sind darum für Grundwasserströmung von Hauptbedeutung die geologisch junge offene Spalten und Brüchen.

In tieferen massiven Zone unter dem Oberflächenaherkollektor meistens überwiegen die Blöcke der wenig durchlässigen bis undurchlässigen kristallinischen Gesteine. Das schliesst aber nicht deutlich grössere (bis in mehrfacher Ordnungsgrösse) Wasserdurchlässigkeit in den tektonisch zerstörten Zonen aus. Bis unlängst überwiegte die Meinung, dass ähnlich wie in Oberflächenahespaltenzone auch in tieferen massiven Zone tiefwärts die Wasserdurchlässigkeit der Kristallingesteinen in allgemeinem sinkt. Wie aber die Ergebnisse der KTB bei Windischeschenbach im Kristallin des Böhmischem Massivs und auch die Erkenntnisse aus weiteren Tiefbohrungen, die in letzten Jahren in grössere Tiefe des Kristallin in verschiedenen Weltteilen durchgeführt wurden, darf man nicht diese Vorstellung eindeutig akzeptieren (vgl. Stober-Bucher 2000). Das beweisen auch das Thermalwasservorkommen in Untererzgebirgischen Graben in Böhmen und in vielen weiteren Gebieten, wo die offene Klüftensysteme sehr tiefe Grundwasserströmung ermöglichen. Tiefenbereich der besser durchlässigen tektonischen Zonen in geeigneten Partien des Kristallins auch in unserm Arbeitsraum kann wesentlich gross sein (bis zu einigen Kilometer).

Dafür es ist möglich zu erwarten in tiefen Kristallingesteinszonen ausgedehnte Solenakkumulationen, die durch Evaporation in ariden und semi-ariden Bedingungen entstanden sind und infolge der Gravitation in tiefes Spaltensystem eingesickert worden sind. Das gilt auch in unserm Arbeitsraum im Kristallinuntergrund des Cheb- und Sokolov-Becken (Dvorak 1990) und auch in manchen anderen Gebieten, wo die Solevorkommen in dem Böhmischem Massiv während des

postvaristischen Entwicklung entstanden worden sind (Krásný 2001). Prozess der langfristigen absteigenden Strömung auf dieser Weise entstandenen Solen wesentlich beeinflusst den Charakter schon längst bekannten regelmässig wiederholten vertikalen hydrochemischen Zonalität der Grundwässer und es ist möglich dies definieren als Bestandteil der globalen Grundwässerströmung mit weiteren bedeutenden Folgen (Krásný 2003).

Sedimentäre Ausfüllung des Cheb-Beckens (Tertiär und Quartär) ist vom kontinentalen Ursprung. Charakteristisch sind schnelle horizontale und vertikale Veränderungen der verschiedenen litologischen Gesteinstypen. Damit ändert sich auch der hydrogeologische Charakter der Sedimenten oft sehr schnell, und zwar in vertikaler und horizontaler Richtung.

In allgemeinem psamitische und pselitische Sedimente (Sande, Schotter, ggf. Sandsteine und Konglomerate) darstellen Kollektoren, während pelitisch-aleurolitische Sedimente (Tone, Tonschiefer, Silts mit ihren wechselseitigen Übergängen) bilden Isolatoren.

Es überwiegt poröse, weniger (vor allem in Falle der Cypris-Schichtenfolge) doppelte bis Spaltenporosität.

Bei einigen Beckensedimenten wurde bedeutende faziale Veränderlichkeit nachgewiesen, die sich durch allgemeine Verminderung der Korngrösse der Sedimenten ab den Beckenrande in der Transportrichtung des sedimentierenden Materials äussert. Infolge dessen sind auch in den Randgebieten des Beckens die Sedimenten mit grösserer Korngrösse und gewöhnlich auch grössere Mächtigkeit der Randfazien bei einiger stratigraphischen Einheiten. Das ist der Fall des Beckensausläufer im Umgebung von Frantiskovy Lazne, wo auch die stratigraphische Einheit von Cypris-Schiefer ist mehr entwickelt in sandiger Uferfazie.

Im Cheb-Becken wir können von unten nach oben drei grundlegende hydrogeologische Komplexe ausgrenzen:

Basaler (unterer) Kollektorenkomplex ist dargestellt von der untere ton-sandige Schichtenserie mit unterliegendem besser durchlässigem verwittertem und zerklüftetem Kristallin und mit Kollektoren der hängenden braunkohlehaltigen Schichten.

Trotz bedeutender Vertretung toniger, also wenig durchlässiger Lagen im basalen Komplex kann man hydraulischen Zusammenhang der einzelnen Kollektoren, oft auch im regionalen Bereich, beobachten.

Zwischenisolator ist von Cypris-Tonschieferschichten gebildet. Er darstellt regionalen isolierenden Komplex und trennt basale und obere Kollektorenkomplexe.

In Oberflächenzone kann die Cypris-Serie auch grössere Wasserdurchlässigkeit haben. In Randgebieten des Cheb-Beckens NW und westlich von Frantiskovy Lazne bis zur Grenze mit Fichtelgebirgsgranit sind alle hier anwesende stratigraphische Einheiten entwickelt als Wechsel nicht zu mächtigen sandigen, kohlehaltigen und tonigen Lagen, ohne Anwesenheit der ausgedehnten zusammenhängenden hydrogeologischen Isolatoren.

Sandige Lagen der Wildstein-Serie mit Quartären schotter-sandigen Sedimenten bilden **oberen Kollektorenkomplex**. Dieser Komplex kommt in grösseren Mächtigkeiten vor allem in östlichen Teilen des Cheb-Becken, also ausserhalb unseres Arbeitsraumes.

Räumliche Verteilung der hydrogeologischen Körper bildet Voraussetzungen für hierarchische Existenz der wasserführenden Systemen und Subsystemen.

Grundwässerströmung im Arbeitsraum hat einen markant raumdimensional Charakter. Aus Sicht der regionalen Strömung kann man das ganze Cheb-Becken einschliesslich gehöriger Krystallin-Umgebung und Untergrund beurteilen als einziges ausgedehntes, mit seiner Strömung zusammenhängendes wasserführendes System, enorm kompliziert durch verschiedene lokale hydrogeologische Verhältnisse. Cheb-Becken im Rahmen dieses Grundwasserleiter-Systems darstellt ein kompliziertes artesisches Becken mit Vorkommen der Mineralwässer sowie gewöhnlichen Grundwässer.

Der Darsteller der relativ langsamen **regionalen Grundwasserströmung** des tieferen Bereiches und beträchtlicher Flächenausdehnung ist vor allem basaler Kollektorenkomplex, aber gleichzeitig auch Kristallinuntergrund des Cheb-Beckens und tiefere Zonen des anliegenden hydrogeologischen Massivs. In seichteren Teilen des Kristallin, genauso wie in oberem Kollektorenkomplex des Cheb-Beckens kommt zu seichteren und schnelleren Grundwasserströmung in weniger ausgedehnten Gebieten. Diese Grundwasserströmung kann man wie **lokale** bezeichnen und in dessen Bereich kann

man grössere Anzahl der relativ wenig ausgedehnten Grundwasserleiter-Subsystems ausgrenzen. Vorwiegende Richtungen der lokalen und regionalen Strömung können sich deutlich unterscheiden.

Böhmische Teile der krystallinischen Einzugsgebieten der Flüsse Weisse Elster und Röthenbach – Fleissenbach (Plesná) darstellen hypsometrisch höhere Teile der Einzugsgebieten, in welchen auf dem deutschen Gebiet die Kurorte Bad Elster (im Einzugsgebiet der Weisse Elster) und Bad Brambach (im Einzugsgebiet des Röthenbachs und Fleissenbachs) liegen.

Einzugsgebiet der Flüsse Weisse Elster (Bílý Halstrov) und Röthenbach (Plesná) sind auf tschechischen Gebiet vom Granitpluton, seinen Mantel und auf ihn im Norden anliegenden Metamorphiten gebildet. Auf Grund der vorherigen Charakteristik der hydrogeologischen Verhältnissen kann man fast volle Übereinstimmung der hydrologischen und hydrogeologischen Wasserscheiden annehmen. Jedes Tal also darstellt relativ wenig ausgedehntes Grundwasserleiter-Subsystem mit Einzugsgebiet, dass durch anliegende Wasserscheidelinien begrenzt ist.

Ähnlicherweise wie in dem Einzugsgebiet von Frantiskovy Lazne - Mineralwässer setzen wir den niedersteigenden Grundwasserbewegung in grössere Tiefe nur in kleinem Mass voraus, Mehrzahl der infiltrierten Wässer wird nach kurzer Strömung im oberflächenahen Kollektor durch oberflächliche Wasserläufe und teilweise in Quellen dreniert.

Unter diesen Bedingungen kann man annehmen, dass die Einzugsgebiete des Bades Elster und Bades Brambach sind unabhängig und auch keineswegs zusammenhangen mit Infiltrationsgebieten von Mineralwässern des westlichen (bis NW) Teile des Cheb-Beckens, also der Mineralquellen in Frantiskovy Lazne und Soos.

4. Hydrochemie der Grundwässer und Mineralwässer

Die Grundwässer in der Verwitterungszone des Fichtelgebirgsgranitmassivs haben niedrige Mineralisation (um 100 mg/L bis max. 200 mg/L) vom Natrium-Sulfat-Hydrogenkarbonat-Typs.

Im Gebiet der Glimmerschiefer und Phyllite sind Wässer mit noch niedriger Mineralisation, die selten 100 mg/L übersteigt, und ist vom Calcium-Magnesium-Natrium-Hydrogenkarbonat-Typs mit erhöhtem Gehalt an Sulfaten, Chloriden und Eisen mit variablem Gehalt der einzelnen Ionen.

Im Gebiet der tertiären Sedimente des Cheb-Beckens sind seichten Wässer mit einer Mineralisation von überwiegend 100 - 300 mg/L vom Calcium-Hydrogenkarbonat und Calcium-Natrium-Hydrogenkarbonat-Typs.

Grundwässer mit tieferem Umlauf sind meistens mit CO₂ durchgast. Dort, wo sich der aufsteigende CO₂ trifft mit Wasser nahe der Oberfläche und so kann sich nicht die erhöhte Lösungskraft des mit dem CO₂ durchgasteten Wassers in grösserer Masse äussern, ist Mineralisation und Chemismus ähnlich der seichten Grundwässer.

Säuerlinge mit tieferem Umlauf befinden sich in natürlichen Quellen hauptsächlich im westlichem Ausläufer des Cheb-Beckens in Frantiskovy Lazne und in NSG Soos. Ihre Mineralisation ist in Tausenden mg/L and erreicht das Maximum bei Cisařský-Quelle (Kaiser-Quelle) in Soos (5707 mg/L), mit ständiger Temperatur 17,4°C.

Quellengebiete von Frantiskovy Lazne und Soos sind die Entwässerungszentren der Säuerlinge mit tieferem Umlauf. Unter natürlichen Bedingungen vor menschlichen Eingriffen waren jedoch auf beiden Lokalitäten die Gesamtgiebigkeiten in Einheiten von L/s.

Auf tieferen Umlauf der Grundwässer deuten auch seicht gefassten Quellen der Säuerlinge im Kristallin: Doubrava mit eine Mineralisation 3 056 mg/L und Dolní Paseky mit eine Mineralisation 4 395 mg/L, beide vom Na-SO₄-Cl-HCO₃ Typ. Diese Quellen befinden sich in Glimmerschiefern und Phylliten im Tal der Weissen Elster.

Die Mineralwässer im unseren Arbeitsraum gehören meistens zu dem Karlsbader-Typ, der mit höherer Mineralisation und mit dem Übergewicht von Na-SO₄-Cl-HCO₃ Bestandteilen charakterisiert ist (Abb. 2). Diese Mineralwässer sind verschieden zu gewissem Grade metamorfiert von umliegenden Gesteinen und verschieden verdünnt und verschieden als Säuerlinge durchgast.

Kohlensäurehaltige Mineralwässer in Frantiskovy Lazne zeigen den einheitlichen chemischen Grundtyp. Sie haben praktisch das gleiche Verhältnis von überwiegenden Ionen: Natrium, Sulfate, Hydrogenkarbonate und Chloride.

Konzentrationen vom Natrium, Sulfaten, Hydrogenkarbonaten und Chloriden sind praktisch proportional der Gesamtmineralisation, was noch klarer sich darstellt bei höherer Mineralisation (ab 5 g/L bis 23 g/L). Diese Abhängigkeit ist in Abb. 3 veranschaulicht.

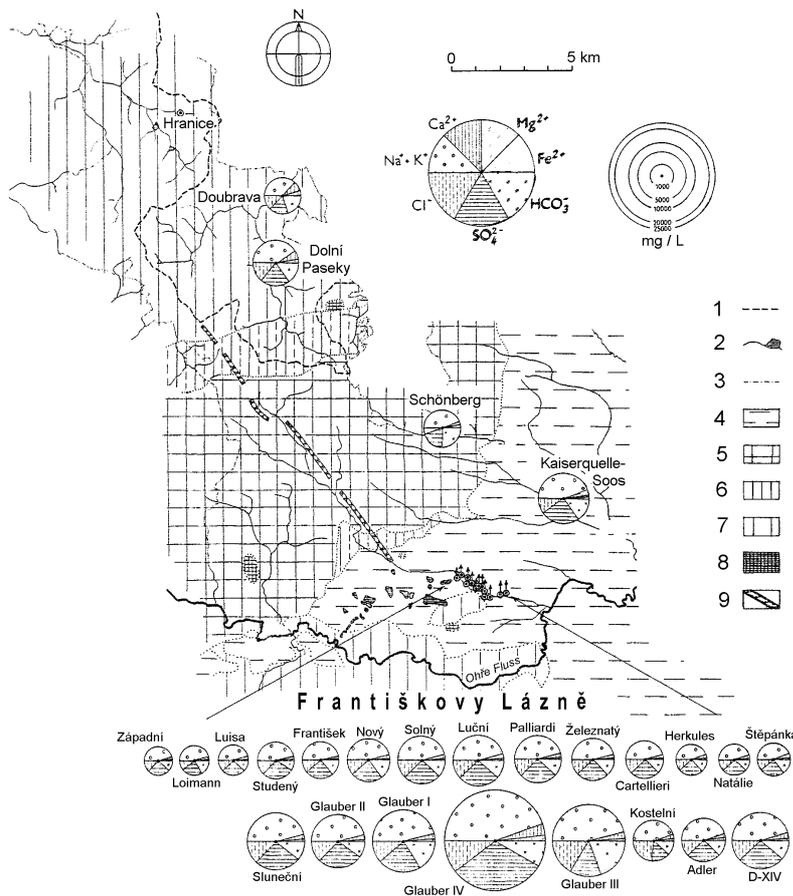


Abb. 2 Chemische Zusammensetzung der Mineralwässer in dem Arbeitsraume (nach Dvorak - Original)

Erklärungen:

1 - Wasserscheide, 2 - Flüsse und Wasserflächen, 3 - Staatsgrenze, 4 - Tertiäre Sedimenten, 5 - Granit, 6 - Gneis, 7 - Glimmerschiefer und Phyllit, 8 - Neovulkanite, 9 - Quarzpfahl

Bzw. der Mineralwässer von Frantiskovy Lazne, in obere Reihe sind die Mineralquellen mit seichten Fassungeinrichtungen (auch alte, die heute existieren nicht mehr), in untere Reihe die Bohrungen.

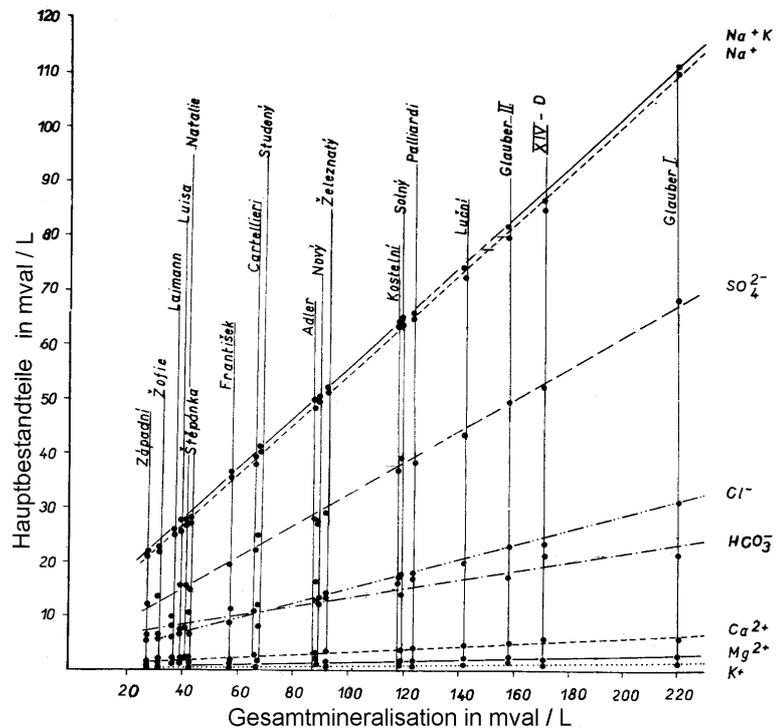


Abb. 3 Konzentration der Hauptbestandteile zu Gesamtmineralisation der Mineralquellen von Frantiskovy Lazne (nach Kolarova 1965)

Deutlich höhere Radongehalte in Grundwässern sind auf die Graniten des Fichtelgebirgsplutons gebunden. Sie sind sehr variabel und erreichen bis Hunderten Bq/L. Besonders hohe und höchste Radongehalte sind bei nördlichen und östlichen Rande des Granitplutons. Die höchsten Radongehalte finden wir in den Mineralquellen in Bad Brambach (bis zu 27 000 Bq/L) und weiter bei den Quellen

von gewöhnlichen Wässern NW von Skalná (bis zu 7 000 Bq/L). Höhere Radongehalte wurden in der Säuerling bei Schönberg (BRD), westlich von Skalná (503 Bq/L) und in westlicher Fortsetzung des nördlichen Rand des Granitplutons in dem Säuerling in Dolní Paseky (258 Bq/L). Diese Vorkommen grenzen das ganze Gebiet mit erhöhter Radonaktivität in Grundwässern aus: von W nach O Dolní Paseky – Bad Brambach – Schönberg – Skalná. Die nahegelegene Mineralquellen bei Plesná weisen eine niedrige Radonaktivität aus. Keine Korrelation zwischen Radon- und CO₂-Gehalt in Grundwässern wurde beobachtet (beide Gase sind auch mit ihrem Ursprung ganz verschieden).

5. Hydrogeologische Position und Eigenschaften der Mineralwässer des Kurortes Frantiskovy Lazne und des Naturschutzgebiet Soos

Im Rahmen der mehreren Mineralwässervorkommen in tertiärem Cheb-Becken und seiner Kristallinumgebung und -untergrund befinden sich im westlichen Teil des Cheb-Beckens zwei bedeutsame Vorkommen der Mineralwässer: Frantiskovy Lazne und Naturschutzgebiet (NSG) Soos.

Frantiskovy Lazne befinden sich im Tal des Slatinka-Baches in Höhe von ca 432 – 435 m NN. Frantiskovy Lazne ist ein Kurort mit Schutzzonen für seine Naturheilmittel, die durch Verordnung der Regierung der CR vom 29. Januar 1992 verkündet wurden (Sammlung der Gesetze und Verordnungen, Nr. 152/1992, Teil 33).

Soos Gebiet in Übermeershöhe um 433 – 435 m NN ist Naturschutzgebiet seit J. 1964. NSG Soos ist einbezogen in Schutzzone des 2. Grades der Naturheilmittel des Kurortes Frantiskovy Lazne.

Beide Lokalitäten verdanken seine Ausschliesslichkeit der spezifischen geologischen und hydrogeologischen Position im Kontext der gesamtregionalen hydrogeologischen Verhältnisse des Cheb-Beckens. Beide befinden sich gleich in Übermeershöhen um 430 – 435 m NN, ca 3 – 4 km entfernt vom NW-Rande des Cheb-Beckens an seinem Kontakt mit Granit.

Hauptinfiltrationsgebiet der Mineralwässer von Frantiskovy Lazne genauso wie von Soos ist in dem zum Cheb-Becken anliegenden Teil des Fichtelgebirgsgranitplutons.

Infiltriertes Grundwasser ist überwiegend aus den oberflächennahen Kollektoren durch Wasserläufe und Quellen in dem Rahmen der Lokalgrundwasserströmung dräniert. Einzelne Einzugsgebiete so bilden mehr oder weniger unabhängige Grundwasserleiter-Subsysteme. Vorherrschender langfristiger durchschnittlicher Grundwasserabfluss (= Natürliche Grundwasser-Neubildung) beträgt bis ca 4,0 - 5,5 L/s km². Ein kleiner Teil vom infiltrierten Grundwasser sinkt durch Klüften- und Spaltensysteme in grössere Tiefe und in der Richtung des hydraulischen Gradients (von NW zu SO) strömt zum Cheb-Becken und dann durch die Kollektoren des Cheb-Beckens und seinen kristallinische Untergrund weiter zu Entwässerungszonen.

Im westlichen Teile des Beckens ist eine bedeutende Entwässerungsteilzone das Tal des Slatinka-Baches im Raum von Frantiskovy Lazne in Übermeershöhe um 432 - 433 m. Die basalen Kollektoren werden hier entwässert, weil der Phyllitkamm in Richtung West-Ost, der sich südlich von Slatinka-Tal befindet, verhindert die weitere Bewegung der Grundwässer zum Ohre-Tal, das sich in Umgebung von Cheb befindet in hypsometrisch niedrigerer Lage (ca. 426 m NN) als Slatinka-Tal. Weiter nach Osten, wo schon diese Phyllitbarriere fehlt, übernimmt die Aufgabe der Grundwässerdränagezone der Fluss Ohre. Zur regionalen Entwässerung des ganzen wasserführenden Systems des Cheb-Beckens kommt vorwiegend in dem Ohre-Tal im Abschnitt von Zusammenfluss mit Slatinka-Bach (Kote zirka 425 m NN) bis Kynperk nad Ohří (Kote zirka 412 m NN) zu.

Zum Teilentwässerung des Basalkomplexes kommt auch infolge von struktur-geologischen Verhältnissen im Raum des NSG Soos in der Höhe von ca. 433 - 435 m NN zu.

Im ursächlichen Verhältnis zu den Grundwässeraustritten in Entwässerungszonen in Frantiskovy Lazne und in Soos sind ausgedehnte Torfvorkommen, welche bei genügender Mächtigkeit, wenn nicht zu deren Beschädigung durch Tagebau oder durch anderen anthropogenen Eingriff gekommen ist, als bedeutsame hydrogeologische Isolatoren wirken.

Anthropogene Eingriffe beschleunigen den Prozess der Entwässerung und Verdünnung der Mineralwässer.

Natürliche Heilressourcen von Frantiskovy Lazne bilden:

1. Kalte kohlenensäurehaltige Mineralquellen (Säuerlinge). Temperatur 9-12⁰ C, bei Bohrungen bis 13,5⁰ C (Glauberquelle Nr.4). Mineralisation bis 23 g/L (Glauberquelle Nr.4).
2. Quellengas (fast reines CO₂) wird zu Trockengasbädern und zu Gasinjektionen verwendet.

3. Der eisenvitriolführende Niedermoortorf wird schon seit 170 Jahren aus einer Lagerstätte im Tal des Slatinka-Baches gewonnen. Dieser Torf wurde im Austrittsbereich von Mineralquellen gebildet. Im naturfrischen Torf ist der Pyritgehalt in besten Teilen der Lagerstätte 10-20%, ansonsten sehr unterschiedlich. Nach einem Reifeprozess wird der Torf zu Heilzwecken verwendet (nach der Oxidation des Pyrits sinkt der pH-Wert bis auf 2 ab). Er wird in Form von Packungen und Moorwannenbädern bei gynäkologischen Indikationen und Erkrankungen des Bewegungsapparates verabreicht. Spezielles Material wird zu gynäkologischen Tampons verarbeitet.

Ursprüngliche Mineralwässeraustritte im sumpfigen Mooregebiet wurden für balneologische Ausnutzung zuerst durch seichten Gruben erschlossen, welche dann im Laufe des 19. und 20. Jahrhundert fortlaufend vertieft wurden. Dabei wurde auch das Überlaufsniveau herabgesetzt um grössere Ergiebigkeit zu erreichen. Im Laufe der balneologischen Ausnutzung wurden insgesamt **17 Mineralquellen** mit seichten Brunnen erschlossen, von denen gegenwärtig 11 Quellen genutzt werden.

Um die grössere Mineralwasserergiebigkeit zu gewinnen, wurden in den J. **1919–1926 Forschungsbohrungen bis in die Tiefe von 92 m durchgeführt**. Sieben von diesen Bohrungen wurden als neue Quellen ausgerüstet:

Quelle	Tiefe	Mineralisation
Glauberquelle Nr. 1	33 m	9,0 mg/L
Glauberquelle Nr. 2	29 m	6,3 mg/L
Glauberquelle Nr. 3	56 m	10,7 mg/L
Glauberquelle Nr. 4	92 m	23,4 mg/L
Kostelní- (Kirchen-)Quelle	30 m	4,4 mg/L
Adlerquelle	30 m	3,7 mg/L
Bohrung D – 14	43 m	5,7 mg/L

Zu dieser Anzahl kamen zu:

Im Jahre 1967:

Slunecní- (Sonnen-)Quelle	35 m	7,4 mg/L
Luisa-Quelle (neu vertieft)	22 m	3,2 mg/L

Im Jahre 1986:

Stanislav-Quelle	61 m	4,9 mg/L
------------------	------	----------

Im Jahre 1997:

Kurhaus CKD Praha	53 m	4,8 mg/L
-------------------	------	----------

In den Jahren 1998-99 wurden weitere drei Bohrungen bei Kurhäuser Erika, Pawlik und Adler.

Im Jahre 2000 weitere Bohrung in Nähe der Cartellierquelle für Kurhaus Pyramida.

Der **Chemismus** der Mineralquellen in Frantiskovy Lazne ist mit Abweichungen einheitlich: Na-SO₄-HCO₃-Cl-Typ. Die Mineralquellen unterscheiden sich in der Gesamtmineralisation.

Gegenwärtige Quellenstrukturentwässerung erfolgt einesteils durch erschlossene Mineralquellen, anderenteils durch nicht kontrollierbaren wilden Austritten in Talanschwemmungen, welche durch Slatinka-Bach drainiert werden.

Gesamtergiebigkeit der erfassten Mineralquellen in Frantiskovy Lazne bewegt sich um 11 L/s. Die ganze Ergiebigkeit der Frantiskovy Lazne-Quellenstruktur, das ist erschlossene Ergiebigkeit und Ergiebigkeit den wilden Austritten der Mineralwässer in Slatinka-Bach, beim gegenwärtigen Stand der Entwässerung wurde entsprechend des Salzabflusses in Werten von 22-28 L/s festgestellt.

Quantitative hydrogeologische Veränderungen, welche im Cheb-Becken und vor allem im basalen wasserführenden Komplex oder in Partien, die mit ihm in hydraulischer Verbindung sind, durchlaufen, sind bestimmend für gegenwärtige und zukünftige Mineralwässerentwicklung.

Die Abschätzung und Konstruktion der sogar nur ungefähren Ergiebigkeitskurve der Mineralwässer stösst an Datenmangel und auch an die Reihe von schwer quantifizierbaren Einflüssen. Aus komplexer Ansicht auf die Torfbildung auf den Quellenorten, auf die Intensität der menschlichen Eingriffe und auf die zugängliche Daten über die Ergiebigkeiten der natürlichen Quellen, wir schätzen

sehr annähernd die ursprüngliche Gesamtergiebigkeit (Abfluss) der Mineralwässer in Frantiskovy Lazne auf ca 3–4 L/s, in Soos in Werten mässig höheren – um 5 L/s.

Aus dieser Abschätzung kann man ableiten, dass menschliche Eingriffe im Quellengebiet von Františkovy Lázně haben sich in ca 6–7-maliger Ergiebigkeitserhöhung, in Soos in ca 2-maliger Ergiebigkeitserhöhung geäussert.

In beiden Lokalitäten hat sich die Entwässerungsintensität allmählich erhöht durch Torftagebau. Damit hat sich die ursprüngliche Isolationswirkung der Torfschicht in Mineralwässerdrainagezonen vermindert. In Frantiskovy Lazne wurde durch Anbohrung der neuen Mineralquellen in den Jahren 1919–26 die Vielfältigkeit der chemischen Zusammensetzung erhöht und die Quellenbasis für weitere balneologische Ausnutzung vergrössert. Dieser Eingriff in die Quellenstruktur führt jedoch einerseits zur beträchtlichen Erhöhung der Mineralwässerentnahme, andererseits zur Vergrösserung des tiefen Bereichs der Grundwässer - einschliesslich Mineralwässerströmung und gleichzeitig zur beträchtlichen Strömungsintensivierung.

Durch Erweiterung und Vertiefung des Flussbetts des Slatinka-Baches bei Regulierung in den Jahren 1959-1964 ist zu Abflussintensivierung der freatischen Wässer in Talanschwemmungen gekommen und nachträglich zur Senkung der piezometrischen Oberfläche dieser Grundwässer. Dies hat sich geäussert in grosser Erhöhung des wilden Ausströmens der Mineralwässer von tieferer Strömung in Slatinka-Bach und durch Überlaufsabsenkungen der seicht gefassten Quellen (Palliard, Luční, Zeleznatý, Cartellieri, Natalie, Stepánka, Herkules).

Beschriebene quantitative Veränderungen in seinen zusammenfassenden Komplex hervorrufen **dauerhafte Veränderungen in Mineralwässerqualität**. Hohe Gesamtergiebigkeit der Mineralquellen und der Abfluss der wilden Mineralwässerauftritten äussern sich in dauerhaftem Mineralisationsabsinken der einigen angebohrten Mineralquellen. Dies wurde schon anfangs der vierzigsten Jahren festgestellt und in fünfzigsten Jahren dokumentiert (Brozek-Kout, 1957). Nach weiter angeführten Beispielen bei Kostelní- und Glauber-Quelle Nr. 3 diese Tendenz dauert bis heute:

Kostelní-Quelle (Kirchenquelle) – Bohrung 30 m tief, mit Ergiebigkeit 2,4 L/s hatte in J. 1931 die Mineralisation 5,0 g/L, in J. 1956 - 4,4 g/L, in J. 1975 - 3,1 g/L, in J. 1982-84 - 2,9–3,0 g/L, in J. 1988 - 2,3 g/L und in J. 2003 - 1,6 g/L.

Glauberquelle Nr. 3 - Bohrung 56 m tief, mit Ergiebigkeit 0,93 L/s hatte in J. 1931 die Mineralisation 13,1 g/L, in J. 1956 - 13,4 g/L, in J. 1975 - 10,7 g/L, in J. 1982-84 - 8,4-11,2 (Durchschnitt 10,1 g/L) und in J. 2003 - 8,2 g/L.

Es ist notwendig hervorheben, dass angesichts der oben beschriebenen Genese der Mineralwässer vom Karlsbader Typs, zu deren auch die Mineralwässer in Frantiskovy Lazne und Soos gehören, handelt es sich um Ausdruck **der qualitativen Destruktion dauerhafte und irreversible**, welche in seinen Endergebnissen steuert zur Umwandlung der ursprünglichen Mineralwässern in die Wässer mit allmählich fortschreitender niedrigerer Mineralisation und mit dauernd niedrigerem Inhalt der Typbildenden Bestandteilen.

Studien der zeitlichen und räumlichen Veränderungen und Kenntnisse der Resistenz der tieferen Zonen gegen Durchwaschen durch gewöhnliche eindringende Wässer unter verschiedenen natürlichen und anthropogenen Bedingungen darstellen eine der Grundlagen für Lösen die Fragen des Mineralquellenschutzes. Wichtige Beiträge in dieser Richtung wurden präsentiert in Arbeiten von Dvorak-Horna (1978) und Springorum (2000), wo deutliches langfristiges Absinken der entscheidenden Bestandteilen der Mineralquellen in Mariánské Lázně, bzw. in Frantiskovy Lazne, nachgewiesen wurde.

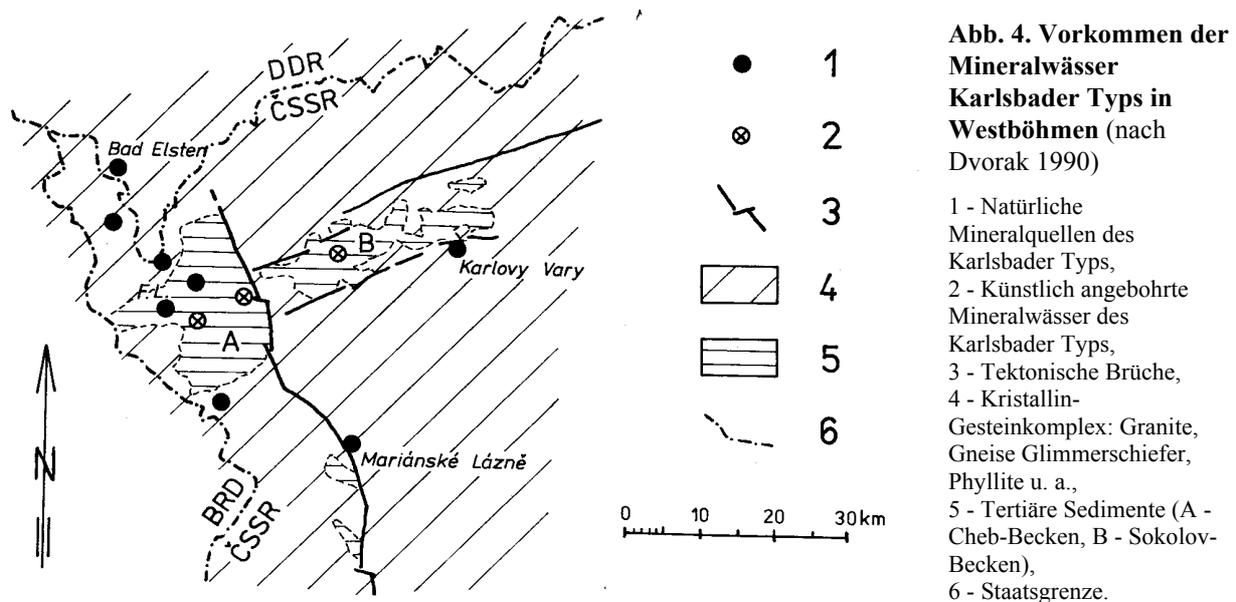
6. Genese von Mineralwässer des Karlsbader Typ

Westböhmen mit benachbarten Gebieten in Deutschland (Sachsen-Vogtland und Bayern) sind weit bekannt mit vielen kohlenstoffhaltigen Mineralwässern (Abb. 4).

Ursprünglich, diese Mineralwässer kamen in manchen Quellen, die teilweise in seichten Fassungseinrichtungen erschlossen wurden, vor. Unter natürlichen Bedingungen die Mineralquellen hatten die Gesamtmineralisation nur bis 6,5 g/L (Dvorak 1990). Später Mineralwässer mit höherer Mineralisation wurden in tieferen Bohrungen entdeckt, wie z.B. in Frantiskovy Lazne die Bohrung Glauber IV (Mineralisation 23 g/L). Weiter Solen mit wesentlich höher Mineralisation wurden in

tiefer Bohrung in dem Untergrund des Cheb-Beckens gefunden (Mineralisation 135 g/L – Paces et al. 1981).

Mineralwässer vom Karlsbader Typ, wegen ihrer ungewöhnlichen und variablen chemischer Zusammensetzung und wegen ihres Vorkommens in verschiedenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen zogen die Aufmerksamkeit von vielen Wissenschaftler für lange Zeit an. Vor allem die Fragen der Genese dieser Wässer waren eine Aufforderung für Geologen und Hydrogeologen. Eine Übersicht von bisherigen Anschauungen ist publiziert in mehreren Fachartikel, wie z.B. von Dvorak (1990) und von Smejkal und Paces (1992). Einige durchgeführte Studien wurden auf eingehenden hydrogeologischen, hydrochemischen, petrographischen und isotopischen Grundlagen begründet, andere sind von spekulativem Charakter.



Umfassendes Konzept der exogene Genese der Mineralwässer vom Karlsbader Typ, und einschliesslich auch der Mineralwässer im Cheb-Becken und seinen kristallinischen Umgebung und Untergrund hat in eine Sequenz der Arbeiten und Artikeln Dvorak (1982, 1990, 1998) publiziert. Das Konzept ist begründet auf der Analyse der bisherigen Ansichten und eigenen analytischen, petrographischen und hydrogeologischen Ergebnissen und Studien im ausgedehnten Region des Vorkommens der Wässer vom Karlsbader Typ.

Dieses Konzept kann man zusammenfassen in folgender Weise:

Die Mineralwässer vom Karlsbader Typ entstehen unterschiedlich warm oder kalt je nach der Tiefe der durch die jüngste Tektonik für die unbehinderte Grundwasserströmung freigesetzten Kluftsysteme. Ihre chemische Zusammensetzung ergibt sich aus dem **Vermischen der Infiltrationswässer mit Tertiären Reliktsolen mit ursprünglicher Mineralisation von Hunderten g/L**. Ihre ursprüngliche Sulfat-Chlorid-Natrium-Grundmineralisation wird rezent mit Hydrogenkarbonaten **ergänzt**, die durch Wechselwirkung des mit juvenilem CO₂ begasten Wassers mit dem Gesteinkomplex in der Zirkulationswegen der Mineralwässer entstehen. Ausser HCO₃ werden die Wässer noch **mit anderen Ionen angereichert**, die den Wechselwirkungen im System Gestein-Wasser-CO₂ entsprechen. Bei den Wässern mit hohen Mineralisationen ist der Anteil an Stoffen aus den Infiltrationswässern im Vergleich mit der Gesamtmineralisation niedrig. Er ist quantitativ ähnlich wie bei den Sauerlingen, deren Ionengehalt in den gespülten Gesteinkomplexen lediglich durch die Wechselwirkungen CO₂-Wasser-Gestein gebildet wird. Der Tertiäre Vulkanismus beteiligt sich an der Ausbildung der chemischen Zusammensetzung in der Rezentzeit nur mit dem Eintrag von CO₂.

7. Schlussfolgerungen: Die Quellenbasis, Nutzung und Schutz der Mineralwässerquellen vom Karlsbader Typ in Frantiskovy Lazne Region

Kenntnis der Genese der Mineralwässer vom Karlsbader Typ hat ausserordentliche praktische Bedeutung: Nur mit dieser Kenntnis kann man beurteilen die Fragen der Erneuerung oder

Nichternewerung dieser Mineralwässer und lösen die Bedingungen ihren Schutzes und wirtschaftlicher langfristiger und nachhaltiger Ausnutzung der Quellen.

Aufgrund der Deutung der Genese der Mineralwässer vom Karlsbader Typ im westböhmisches Sauerlingsgebiet durch Verdünnung und Auslaugung der eingesickerten Evaporationsmineralisation mit Infiltrationswässern bei gleichzeitiger CO₂-Begasung sind die Vorräte an Grundsatzbestand der Wässer in der geologischen Struktur für **quantitativ beschränkt** zu halten.

Diese Vorräte sind im umfangreichen und tief eingesenkten, tektonisch intensiv zerstörten Gesteinkomplex im Raum der ganzen Erzgebirgischen Mulde, i.e. des Cheb-Beckens (und auch des Sokolov-Beckens) relativ groß. Unter natürlichen Bedingungen, noch vor den anthropogenen Einflüssen wurden sie durch Grundwasserströmung aus den versenkten Schollen des geologischen Baus nur in geringem Masse ausgespült, ausser der tief eingelegten Quellenstruktur in Karlovy Vary. Die Deutung der Genese **liefert Voraussetzungen für die Erschliessung neuer Vorkommen und Quellen der Wässer vom Karlsbader Typ** in dem ursprünglichen Sedimentationsgebiet, und zwar vor allem im eingesenkten Gesteinkomplex der Erzgebirgischen Mulde im Raum des Sokolov- und Cheb-Becken. Diese neuen Quellen können, nachdem die hydrogeologisch isolierten Klüftensystemen durch Freilegung der Dränagestellen wasserwegsam gemacht und das für die Wasserzirkulation erforderliche hydraulische Gefälle (bzw. auch durch Pumpen aus grösseren Tiefen) hergestellt worden waren, auch **höhere Mineralisation** (Zehner g/L) aufweisen und **unterschiedlich** warm, **mit unterschiedlicher CO₂ Begasung** und durch den Gesteinkomplex, in dessen Spalt- und Kluftsystem sie aufbewahrt waren, **unterschiedlich metamorphiert** sein. Der Anteil der aus den Wechselwirkungen mit den aus Gesteinskomplex stammenden Stoffe wird bei den Wässern mit einer hohen Mineralisation gegenüber dem Grundchemismus proportional niedrig sein.

Das liefert demnach einige **Möglichkeiten, die Quellenbasis** der Mineralwässer vom Karlsbader Typ zu **erweitern**, so dass ein breiteres qualitatives Sortiment der chemischen Zusammensetzung vorliegen wird, als die Natur in den natürlich freigelegten Quellenstrukturen bietet.

Aber bei der Ausnutzung der bestehenden Quellen muss man der **Vorrat an Muttersalzen** für die Bildung der Mineralwässer als **quantitativ beschränkt angesehen worden**. Eine bedeutende Erhöhung der Wasserentnahme wird **immer mit der Abnahme** der Grundmineralisation vom Karlsbader Typ **verknüpft** sein. Die Mineralisation des Karlsbader Typs wird nämlich nicht neugebildet, sondern sie entsteht durch Ausspülung und Entwässerung von **statischen Relikt-vorräten**. Diese Tatsache muss vor allem bei der Ausnutzung der Kreuz-, Ferdinand- und Waldquelle in Mariánské Lázně berücksichtigt werden, wenn die gegenwärtige breite Palette der chemischen Zusammensetzung der Mineralquellen in Mariánské Lázně erhalten bleiben soll. Dies gilt auch für das ergiebige artesische Cheb-Becken in **Frantiskovy Lazne**. Die Einschränkung der Ergiebigkeit der gebohrten Quellen ist nötig, um die Abnahmetrends der Quellenmineralisation zu **verlangsamen**. Dieselbe gilt auch für Einschränkung der Gasaustritten nur für notwendige Ausnutzung der gasführenden Mineralwässer und Schutz ihres Gasgehalt.

Die Freilegung der Thermalquellen durch Bergbauarbeiten in Jáchymov und im Sokolov-Becken zeigt eine Belebung der Wasserzirkulation in den bisher bedeckten, potentiellen Quellenstrukturen mit stagnierender aber potentiell unbehinderte Grundwasserströmung. Bei Verletzung bestehender hydraulischer Verhältnisse in einem umfassend und tief eingelegten Kluftsystem kann es leicht passieren, dass **die bisher behinderte, potentielle Grundwasserströmung** zwischen den bestehenden Dränagezentren der Quellenstrukturen **belebt wird** und die austretende Mineralwasserströmung anschliessend in Dränagestellen abgeleitet wird, die in einer niedrigeren Meershöhe freigelegt wurden. Dies gilt auch für die Quellenstrukturen von Frantiskovy Lazne und Soos in Beziehung zum Cheb-becken sowie für die Quellenstruktur von Karlovy Vary in Beziehung zum Sokolov-Becken.

Darum, es ist notwendig zu betonen, dass Erkenntnis und Verstehen der Mineralwässergenese eine grosse praktische Bedeutung hat. Die Frage der rezenten Neubildung oder Nichtneubildung, also der Erneuerungsbarkeit, der Hauptbestandteilen der Mineralwässer vom Karlsbader Typs muss bestimmend für ihren Schutz sein. Genauso wie der Schutz muss auf dem Konzept ihren Erneuerungsbarkeit gegründet sein, so muss auch der Schutz von Sicht der neuen Erkenntnissen revidiert sein.

Danksagung

Herzlicher Dank der Autoren gilt der Stiftung SAUBERES WASSER EUROPA und dem Umweltbüro Vogtland für die Unterstützung des Projektes. Die Autoren besonders würdigen die Mitarbeit der Kollegen Dr.-Ing. Thomas Daffner, Dr. Carsten Leibenath und Dipl.-Hydr. Manuela Vossberg.

Literaturauswahl

- Brozek B. - Kout Q. (1957): Změny v chemickém složení minerálních zříděl Františkových Lázní. Voda 35, 7, 178-182.
- Buzek C. – Holý F. – Kvacek Z. (1996): Early Miocene flora of the Cypris Shale (western Bohemia). – Acta Mus. Nat. Pragae, ser. B. Hist. Nat. 52, 1-4, 1-72. Praha.
- Carlé W. (1975): Die mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. – Wiss. Verlagsgesellsch. Stuttgart. 643 s.
- Daffner Th. – Vossberg M. et al. (1999): Grenzüberschreitender Schutz der Heil- und Mineralquellen im Vogtland in Sachsen und Westböhmen. Zwischenberich. - MS UBV Umweltbüro GmbH Vogtland.
- Dvorak J. (1982): Geneze minerálních vod karlovarského typu v západních Čechách. – MS Výzk. úst. balneol. Frantiskovy Lazne. 64 s.
- Dvorak J. (1990): Hydrogeologie und Genese der Mineralwässer vom Karlsbader Typ in Westböhmen. Balneol. Bohem. 19, 2, 33-41. Avicenum Praha.
- Dvorak J. (1998): Hydrogeology and the genesis of mineral waters of the Carlsbad type in western Bohemia. In: R. Annau, S. Bender & S. Wohnlich (eds), Hardrock Hydrogeology of the Bohemian Massif. Proc. 3rd intern. worksh., Windischeschenbach 1998. Münchner Geol. Hefte B8: 63-69. München.
- Dvorak J. - Horna V. (1978): Hydrogeologische Entwicklung der Quellenstruktur in Mariánské Lázně. Balneol. bohem. 7, 2, 42-53. Avicenum Praha.
- Dvorák J.-Krásný J. (2003): Ergebnisse aus dem Heilwasserschutzprojekt im Raum Frantiskovy Lazne, Tschechische Republik. – Proc. 1. Europa Kongress „Kurort und Umwelt“.
- Egerter H.G. - Plötner G. - Dvorak J. - Jordan H. (1984): Geochemische Beziehungen in vogtländisch westböhmischem Mineralwässern. Abh. Sächsischen Akademie Wiss., Math.-naturwiss. Klasse, Band 56, 1, 1-60. Berlin.
- Hynie O. (1963): Hydrogeologie ČSSR II. Minerální vody. – Nakl. Čs. Akad. Věd Praha. 798 S.
- Kolarova M. (1965): Hydrogeologie chebské pánve. - Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. Inž. Geol. 3, 7-101. Ústř. Úst. Geol. Praha.
- Krásný J. (2001): Carlsbad mineral water origin in context of Post-Variscan development in Central Europe. – In: Seiler K.-P. and Wohnlich S. (eds.): New approaches to characterising groundwater flow. Proc. 31 IAH Congress, Sept. 10-14, 2001, 989-993. Munich. Balkema Rotterdam (ISBN 90 2651 848 X).
- Krásný J. (2003): Important role of deep-seated hard rocks in a global groundwater flow: possible consequences. – In: Krásný J.-Hrkal Z.-Bruthans J. (eds.): Proceedings - Internat. Conference on “Groundwater in fractured rocks”, Sept. 15-19, 2003. Prague. 147-148, IHP-VI, Series on Groundwater 7. UNESCO.
- Krásný J. – Dvorak J. (2003): Grenzüberschreitender Schutz der Heil- und Mineralquellen im Vogtland in Sachsen und Westböhmen. Tschechischer Teil. Schlussbericht über Geologie, Hydrogeologie, Hydrochemie. 95 S.- MS Praha-Frantiskovy Lazne
- Paces T. – Smejkal V. – Pazdera A. – Kobrová M. – Barnet I. (1981): Ojedinělý typ solanky v podloží chebské pánve. – Geol. Průzk. 23, 7, 196-198. Praha.
- Springorum K.A. (2000): The Cheb basin and the mineral springs of Frantiskovy Lazne (Franzensbad), Czech Republic. Two centuries of (hydro)geological research and new evidence for a continuing demineralisation of the Frantiskovy Lazne springs. MS Diploma Thesis: RWTH Aachen & Charles University Prague.
- Smejkal V. – Paces T. (1992): Vznik minerálních vod karlovarského typu. – Geol. Průzk. 34, 2, 33-37. Praha.
- Stereov K.D. (1969): Sur la genese, les ressources et la protection des eaux minérales sodo-glauberiques fossiles du type „chèque de l’ouest. – Recueil du II. Symp. intern. balnéotechniques, Piešťany. 82-102.
- Vylita B. et al. (1984): Frantiskovy Lazne – přehodnocení zřídelní struktury. Závěrečná zpráva. – MS Stav. geol. n.p. Praha.