

## Geologische und numerische Modellierungen im Transenergy-Gebiet – Herausforderungen und Ergebnisse

GREGOR GÖTZL<sup>1</sup>, MAGDALENA BOTTIG<sup>1</sup>, STEFAN HOYER<sup>1</sup> & FATIME ZEKIRI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, A-1030 Wien  
[gregor.goetzl@geologie.ac.at](mailto:gregor.goetzl@geologie.ac.at), [www.geologie.ac.at](http://www.geologie.ac.at)

### Einleitung

Das Projekt "TRANSENERGY – Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia" (gefördert durch das CENTRAL-EUROPE-Programms des Europäischen Regionalförderungsfonds EFRE) behandelt die Bewirtschaftung grenzüberschreitender Thermalwasservorkommen im Grenzraum zwischen Österreich – Slowakei – Slowenien und Ungarn aus der Sicht der Geowissenschaften. Das Augenmerk der Studie TRANSENERGY wird hierbei auf die Nutzung natürlich auftretender Thermalwässer zu balneologischen und energetischen Zwecken, zusammengefasst unter dem Begriff „Hydrogeothermie“, gelegt.

Die damit verbundenen zentralen Aufgabenstellungen umfassen:

- i. Die Abbildung der gegenwärtigen Nutzungssituation.
- ii. Aufbau einer grenzüberschreitenden, harmonisierten Datenkompilation relevanter geowissenschaftlicher Basisdaten.
- iii. Die Abbildung der initialen und gegenwärtigen hydrogeothermischen Verhältnisse im Projektgebiet durch Karten und geowissenschaftliche Modelle. Hierbei wird zwischen überregionalen, das gesamte Projektgebiet abdeckenden Modellen (Maßstab 1:500.000) und regionalen Modellen mit höherer räumlicher Auflösung (Maßstab maximal 1:200.000) in besonderen Interessensgebieten (so genannten Pilotgebieten) unterschieden.
- iv. Die Erhebung von vorhandenen hydrogeothermalen Potenzialen.
- v. Die Erhebung potenzieller Nutzungskonflikte infolge einer nicht bilateral harmonisierten Thermalwasserbewirtschaftung. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf eine Steigerung der Sensitivität von potenziellen Investoren und verantwortlichen Behörden durch die gezielte Modellierung von „was wäre wenn“ Szenarien gelegt.
- vi. Die Veröffentlichung der erarbeiteten Modelle in einem möglichst interaktiv anzulegenden Web-Portal.

Abgesehen von Aufgabenstellung (i) bilden geowissenschaftliche Modellierungen ein zentrales Bearbeitungswerkzeug zum Erreichen der Projektziele. Hierbei wird zwischen folgenden Teilaspekten unterschieden:

- a. Geologische Modellierung (2D, 3D).
- b. Hydrogeologische und Hydraulische Modellierung (2D, 3D).
- c. Geothermische Modellierung (1D bis 3D).

Die Anwendung numerischer Modellierungsmethoden besitzt gegenüber konventionellen Lösungen auf Grundlage konstruktiver Verfahren und statistischer Interpolationsmethoden die Vorteile der (1) erhöhten Transparenz durch Bezugnahme auf realen und teilweise

*publizierten Eingangsdaten, (2) einer vereinfachten späteren Adaptierbarkeit bei eventueller Änderung der Datenlage sowie (3) einer verbesserten räumlichen Interpolation in Gebieten mit geringer Datendichte und unregelmäßiger Datenverteilung durch Berücksichtigung dreidimensionaler geometrischer Strukturen und physikalischer Gesetze.*

Im Rahmen des Projekts TRANSENERGY wurden sämtliche Modellierungsaufgaben von Experten der involvierten geologischen Dienste unter regelmäßiger Absprache in Expertenworkshops durchgeführt.

## **Ausgangslage und Problemstellung**

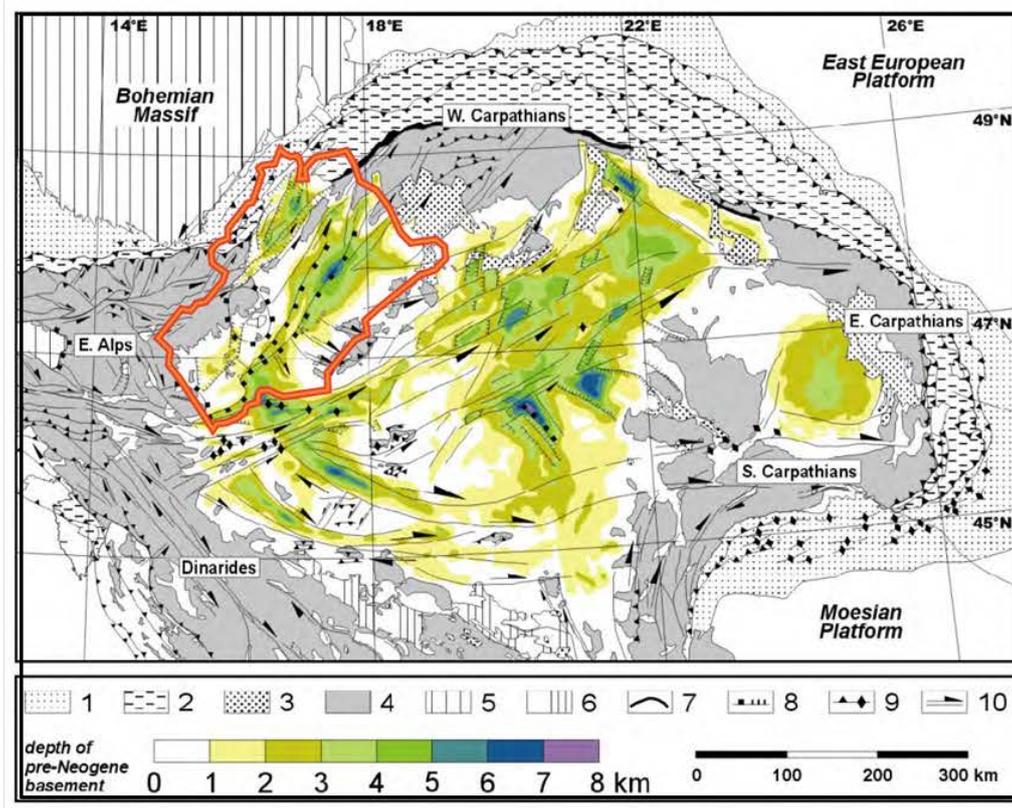
### **Die geothermischen Voraussetzungen im Projektgebiet und deren wirtschaftliche und energiewirtschaftliche Bedeutung**

Umgeben von den Gebirgszügen der Ostalpen und der Westkarpaten beinhaltet das TRANSENERGY Gebiet das Westpannonische Becken, das Donau Becken, das Wiener Becken, das Steirische Becken und das Zala Becken. Sämtliche Becken stellen intramontane, neogene Sedimentbecken mit Verfüllungsmächtigkeiten bis über 7,000 Meter dar (Abbildung 1). Darüber hinaus weisen weite Teile des Projektgebiets erhöhte terrestrische Wärmeflüsse von über 100 mW/m<sup>2</sup> auf (Abbildung 1). Die Ursache der günstigen geothermischen Voraussetzungen liegt vorrangig in einer Aufwölbung der Asthenosphäre unter dem Pannonischen Becken infolge großtektonisch hervorgerufener Krustenverdünnung im Miozän (LENKEY, 1999). Nach LENKEY, 1999 (S. 128) nimmt die Mächtigkeit der Lithosphäre sukzessive in Richtung des Zentrums des Pannonischen Beckens ab und besitzt im Bereich des Békés Becken (südöstlich des Projektgebiets) ein Minimum von 40 km (

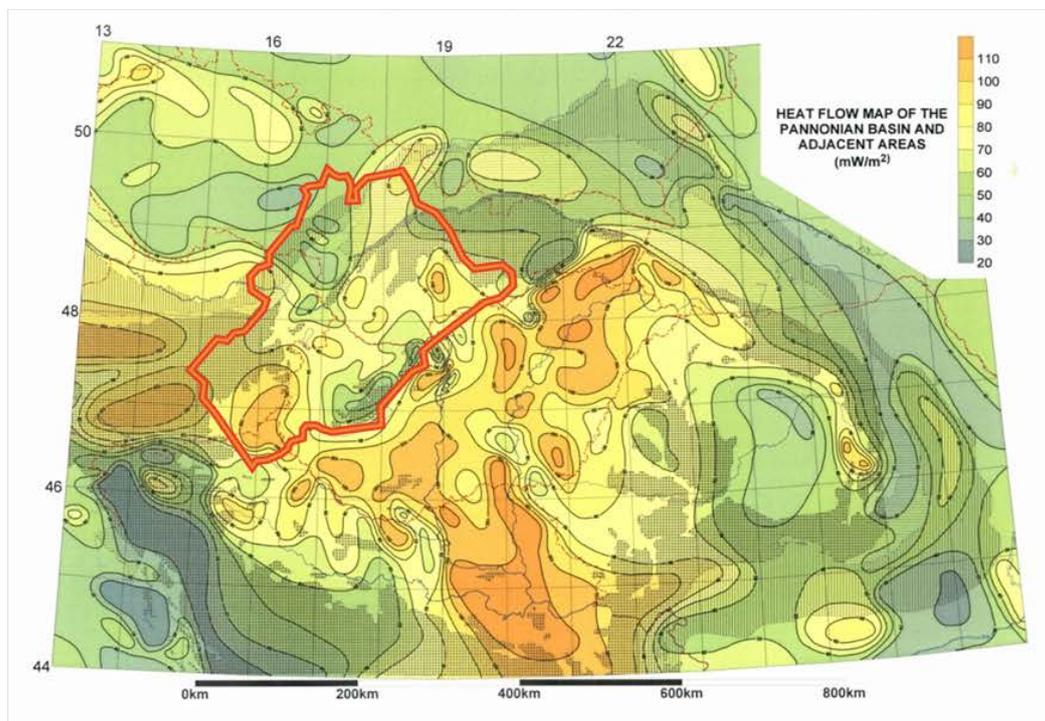
Abbildung 2). Darüber hinaus indizieren regional begrenzte geothermische Anomalien am südwestlichen Rand des Westpannonischen Beckens (Oststeirisches Becken und Zala Becken) vulkanische Beeinflussung. Hierauf wird separat im Kapitel Schlussfolgerung und Interpretation eingegangen.

Neben den krustentektonisch hervorgerufenen geothermischen Anomalien sind im Projektgebiet lokal bis regional begrenzte geothermische Anomalien infolge der Konvektion natürlicher Thermalwässer zu beobachten. Eine der signifikantesten positiven, durch Konvektion hervorgerufenen Temperaturanomalien im Projektgebiet sind im Gebiet der Therme Wien Oberlaa festgestellt worden. Pumpversuche im Beckenuntergrund im Intervall 374.7 bis 394.3 m unter GOK (Formation: Hauptdolomit, Obertrias) erbrachte Thermalwasser mit einer Austrittstemperatur von 53°C (WEBER, 1967). Dies korrespondiert mit einem scheinbaren geothermischen Gradienten von über 10°C/100m!

Negative geothermische Anomalien sind hingegen vor allem im Bereich der Einzugsgebiete der natürlich zirkulierenden Thermalwässer am Westrand des südlichen Wiener Beckens, im Bereich des Bakony Gebirges (Ungarisches Mittelgebirge) sowie am Südrand der Westkarpaten zu beobachten. In diesen Gebieten können Reduktionen des terrestrischen Wärmeflusses von durchschnittlich 75 bis 80 mW/m<sup>2</sup> auf unter 30 mW/m<sup>2</sup> (z.B. Bereich Berndorf bei Baden).



Oben: Tiefenlage des präneogenen Basements im Pannonischen Becken und dessen angrenzenden Gebieten (nach Kovac et al, 2000, überarbeitet).



Unten: Terrestrischer Wärmefluss im Pannonischen Becken und dessen angrenzenden Regionen (nach Lenkey, 2002 überarbeitet).

Abbildung 1.  
 Übersicht Pannonisches Becken und dessen angrenzenden Regionen: Tiefenlage des präneogenen Beckenuntergrundes und terrestrischer Wärmefluss.

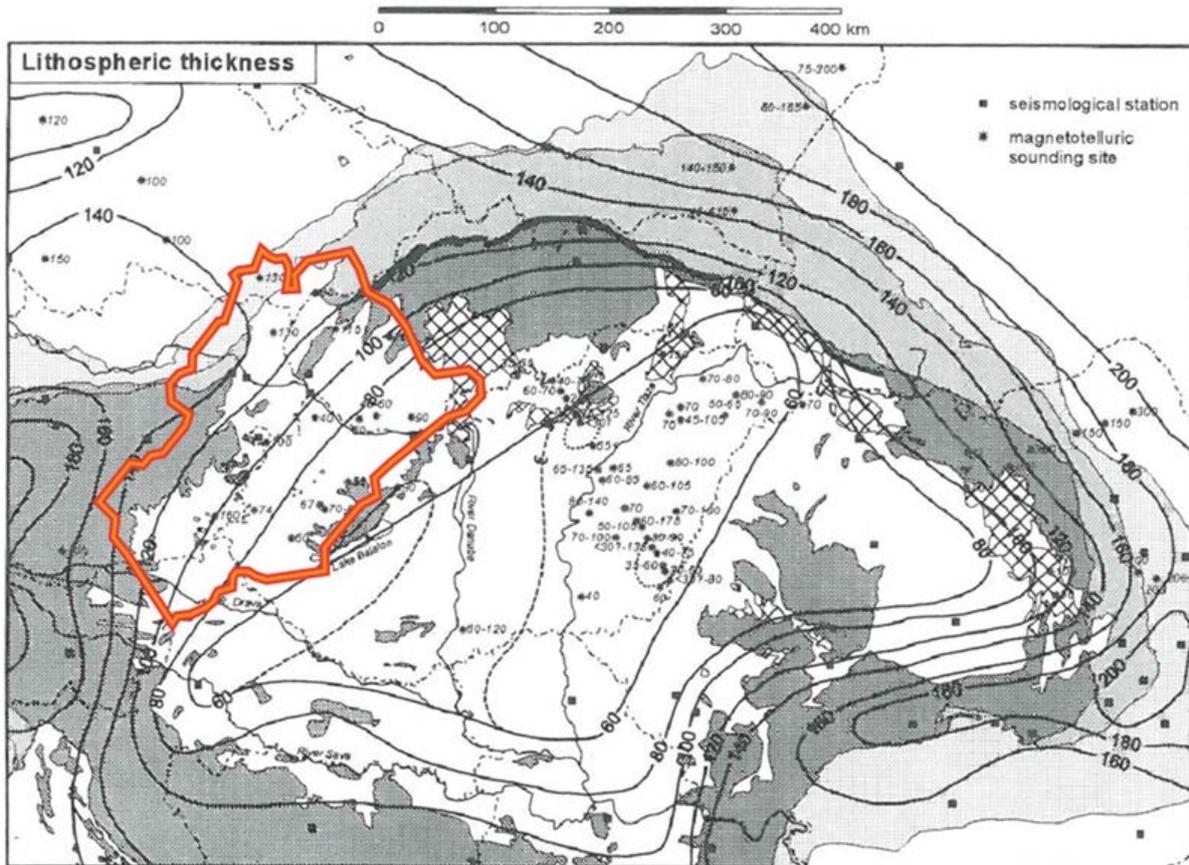


Abbildung 2.

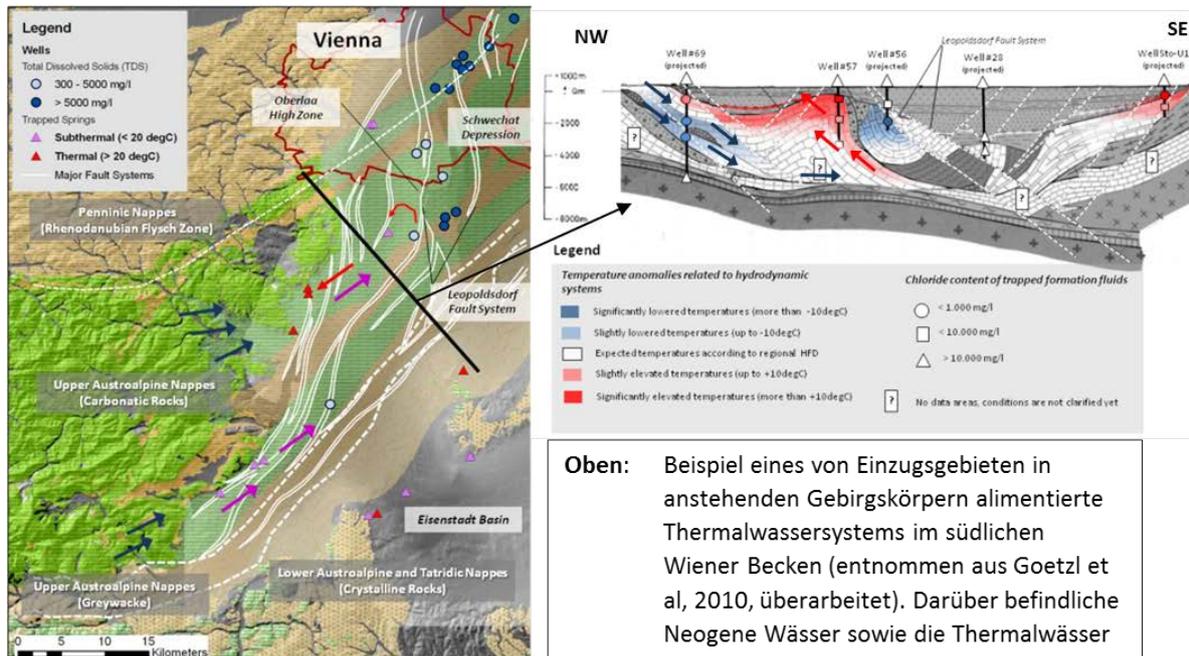
Mächtigkeit der Lithosphäre im Bereich des Pannonischen Beckens (entnommen aus LENKEY 1999, S. 128; bearbeitet).

Die Thermalwasservorkommen im TRANSENERGY Projektgebiet können aufgrund ihrer hydraulischen Verhältnisse in folgende Typen unterschieden werden:

- i. *Statische, teilweise konnate Formationswässer* mit erhöhter Mineralisation und teilweise überhydrostatischen Druckverhältnissen.
- ii. *Hydrodynamische Zirkulationssysteme* mit *Einzugsgebieten* in an der Erdoberfläche anstehenden *Gebirgszügen*.
- iii. *Hydrodynamische Zirkulationssysteme* mit diffuser Alimentierung über *quartäre Sedimentschichten*.

Exemplarische Beispiele der Thermalwassertypen (Typ i.) bis (Typ iii.) sind der nachfolgenden Abbildung 3 zu entnehmen. Die Thermalwassertypen (Typ ii.) und (Typ iii.) zeichnen sich durch im Allgemeinen geringer Mineralisation, hydrostatische Druckbedingungen und oftmals aberrante Temperaturverhältnisse aus. Die statischen Formationswässer (Typ i.) weisen hingegen im Allgemeinen Wassertemperaturen auf, die dem regionalen geothermischen Regime entsprechen. Hydrodynamische Zirkulationssysteme mit diffuser Alimentierung über die lokal angrenzende Erdoberfläche (Typ ii.) ist vorrangig im Pannonischen Becken in jenen Arealen zu beobachten, die über mächtige, hydraulisch durchlässige Quartärfüllungen verfügen. In einigen Regionen, besonders im Wiener Becken, liegen statische Thermalwasserkörper in naher Umgebung zu hydrodynamischen Systemen. Die hierbei auftretenden hydraulischen Barrieren sind (a)

durch tektonische Störungen (z.B. Leopoldsdorfer Bruchsystem) oder (b) stratigrafische Barrieren (undurchlässige Sedimentpakete) gegeben.



**Oben:** Beispiel eines von Einzugsgebieten in anstehenden Gebirgskörpern alimentierte Thermalwassersystems im südlichen Wiener Becken (entnommen aus Goetzl et al, 2010, überarbeitet). Darüber befindliche Neogene Wässer sowie die Thermalwässer jenseits des Leopoldsdorfer Bruchsystems weisen jedoch konnate Verhältnisse auf.

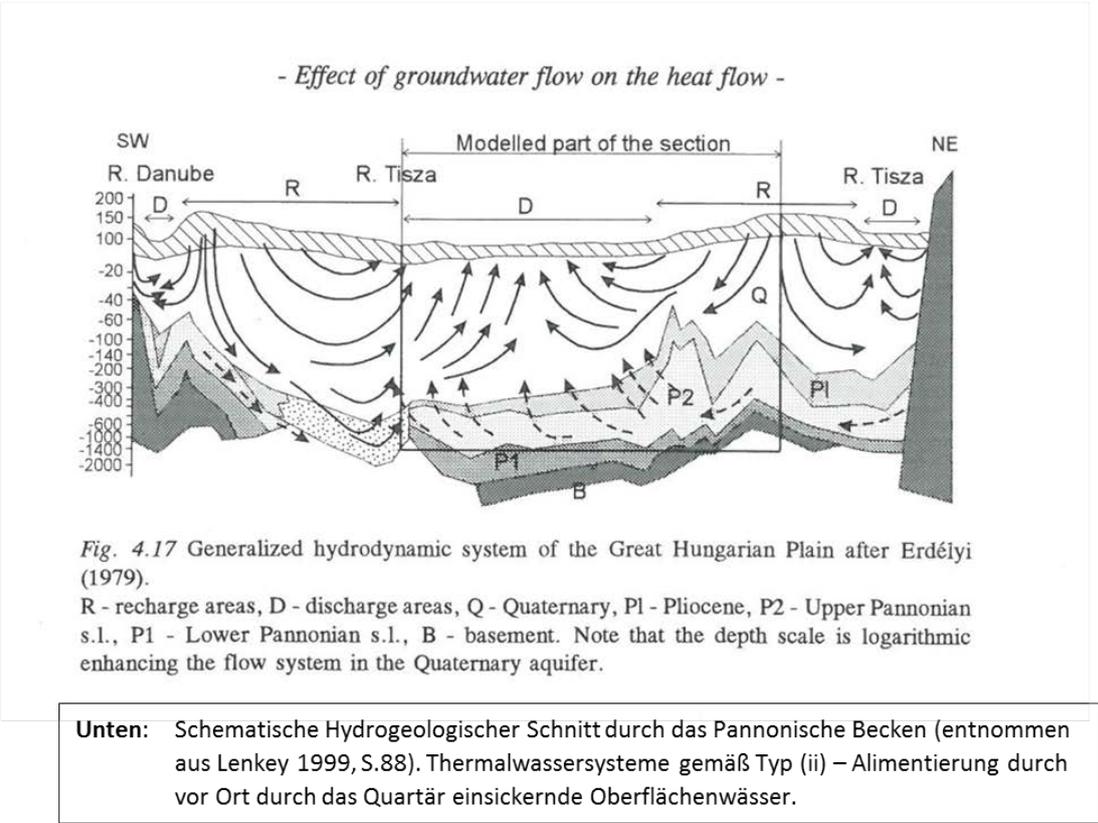


Abbildung 3.  
 Exemplarische Darstellung verschiedener hydraulischer Thermalwassertypen im TRANSENERGY Projektgebiet.

Die Kombination gut durchlässiger Formationen, sowohl in den Beckenfüllungen als auch in deren Beckenuntergrund und erhöhter Wärmefluss machen natürlich vorhandene Thermalwässer zu einer bedeutenden Energiequelle und einem wichtigen Wirtschaftsfaktor. ÁRPÁSI (2003) sieht im Bereich des Pannonischen Beckens sogar das bedeutendste Thermalwasservorkommen Europas im gering bis moderaten Enthalpie Bereich (Temperaturniveau bis max. 150°C).

Geothermische Nutzungen besitzen im Projektgebiet eine traditionelle Anwendung, vor allem für balneologische Zwecke. Gegenwärtige Nutzerangaben liefern die Country-Updates im Rahmen der von der Internationalen Geothermischen Gesellschaft (IGA) organisierten Geothermie Weltkonferenz 2010 (GOLDBRUNNER, 2010; FENDEK & FENDEKOVA, 2010; RAJVER et al., 2010; TOTH, 2010) sowie projektspezifischen Erhebungen (RMAN & FUKS, 2012).

In Summe existieren im Projektgebiet 148 aktive Nutzungen, die pro Jahr zum Zeitpunkt 2011 in Summe 32.7 Mio. m<sup>3</sup> Thermalwasser entnehmen und eine geothermische Gesamtkapazität von mehr als 250 MW<sub>TH</sub><sup>1</sup> aufwiesen. Der dominierende geothermische Nutzungszweck stellt die stoffliche Nutzung von Thermalwässern zur Versorgung von Wellness- und Heilbädern dar. Die Anwendung natürlicher Thermalwässer für räumliche, industrielle und agrartechnische Heizzwecke findet an 25 Standorten in Österreich, Slowenien und der Slowakei mit einer installierten Gesamtkapazität von 97 MW<sub>TH</sub> statt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird lediglich an einem Standort Elektrizität aus geothermischer Energie gewonnen. Hierbei handelt es sich um das Thermalbad Blumau in der Steiermark, wo über einen binären Zyklus mittels ORC Prozess Strom mit einer Gesamtkapazität von 250 kW<sub>EL</sub> erzeugt wird (GOLDBRUNNER, 2005). Einen Sonderfall stellt die Gewinnung von Trink- und Brauchwasser aus geothermalen Reservoiren im erhöhten Umfang in Ungarn dar. Der Grund hierfür liegt in der zur beschriebenen besonderen Beschaffenheit der Thermalwasserzirkulationssysteme im Pannonischen Becken, in welchem in einigen Regionen, bedingt durch Alimentierung über mächtige, gut durchlässige quartäre Schichten, ein fließender Übergang zwischen Trinkwasser und trinkbarem Thermalwasser stattfindet.

Abschließend ist festzuhalten, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt die höchste Flächendichte geothermischer Nutzungen in Ungarn zu verzeichnen ist. Eine zukünftige Steigerung der Nachfrage geothermischer Nutzungen im TRANSENERGY Gebiet ist bei entsprechender Wirtschaftskonjunktur aufgrund der wachsenden Bedeutung dieser länderübergreifenden Region als Industrie- und Wirtschaftsstandort anzunehmen.

Potenzielle und bereits bestehende Nutzungs- und Umweltkonflikte sind im Projektgebiet durch folgende Sachverhalte gegeben:

- Überbeanspruchung gemeinsam genutzter Thermalwasserreservoire: In den Regionen des Projektgebiets fehlen bislang sowohl nationale als auch international (zumeist bilateral) abgestimmte Thermalwassermanagementkonzepte. Dies äußert sich zum Beispiel durch den geringen Anteil geothermischer Nutzungen mit anschließender Reinjektion<sup>2</sup>. Einige prominente Reservoire haben zudem länderübergreifende Ausdehnungen oder länderübergreifende Einzugsgebiete. In

---

<sup>1</sup> Für den ungarischen Anteil des Projektgebiets liegen nur Schätzungen der kumulierten geothermischen Kapazität vor.

<sup>2</sup> Gemäß den projektspezifischen Erhebungen findet nur an 1.5% der aktiven Nutzungen eine Reinjektion thermisch genutzter Thermalwässer statt (RMAN & FUKS, 2012).

diesem Zusammenhang sind die Regionen Lutzmannsburg (AT) – Zsira (HU), Bad Radkersburg (AT) – Radgona (SLO) oder Kumarno (HU) – Sturovo (SK) zu erwähnen.

- Ineffiziente Nutzungen und fehlendes Abwassermanagement: Die projektspezifischen Erhebungen ergaben, dass in nahezu 95% der dokumentierten Nutzungen Abwassertemperaturen von über 20°C am Einlasspunkt in den Vorfluter zu verzeichnen sind. Dies betrifft besonders den Sektor Balneologie. So erbrachte zum Beispiel die Studie **Pantherm** die Erkenntnis (STRAKA, 2008), dass in den wenigsten Bädern Wärmerückgewinnung aus Abwässern stattfindet. Zudem werden die teilweise erhöht mineralisierten Abwässer ohne Reinigung in Vorfluter abgeführt.
- Konflikte mit anderen Nutzungstypen im Untergrund: Aufgrund der bereits angesprochenen besonderen Grundwasserverhältnisse im Pannonischen Becken sind in Ungarn bereits signifikante wechselseitige Beeinflussung zwischen der Trink- und Brauchwasserversorgung und geothermischen Nutzungen infolge von Druckspiegeländerungen zu verzeichnen. In der Region Kumarno – Sturovo (HU – SK) wirkt sich der lokal vorhandene Bergbau im Bereich des Ungarischen Mittelgebirges durch jahrzehntelanger Entwässerungsmaßnahmen bereits dramatisch auf die Thermal- und Grundwasserhydraulik der teilweise stark verkarsteten Reservoirs des Untergrundes aus. Im Bereich des zentralen und nördlichen Wiener Beckens sind bei einem zukünftigen Ausbau der Tiefen Geothermie Nutzungskonflikte mit der Kohlenwasserstoff- (KW-) Industrie (KW Gewinnung und/oder saisonale KW Speicherung) zu befürchten. Derzeit finden im Wiener Becken noch keine geothermische Nutzungen zu Energiegewinnungszwecke statt – eine erste Pilotanlage im Bereich Wien Aspern mit einer Gesamtkapazität von 39 MW<sub>TH</sub> ist jedoch gerade in der Erkundungsphase (GOLDBRUNNER, 2010).

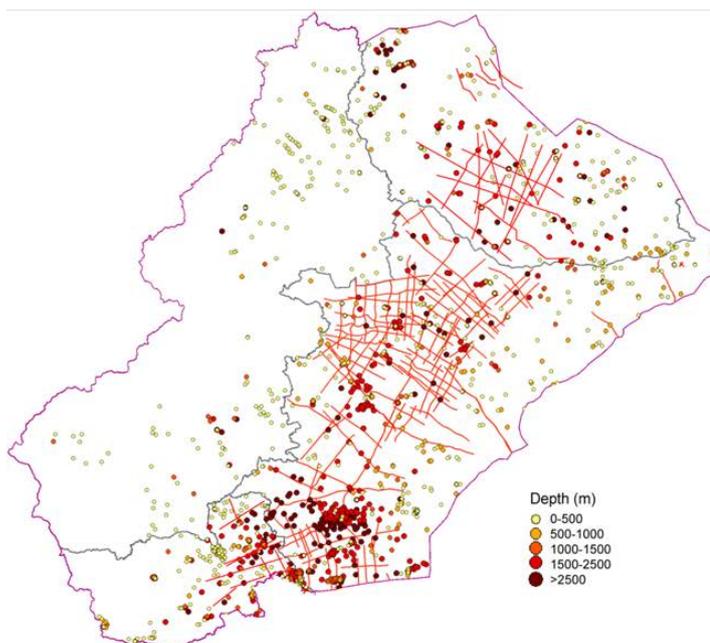
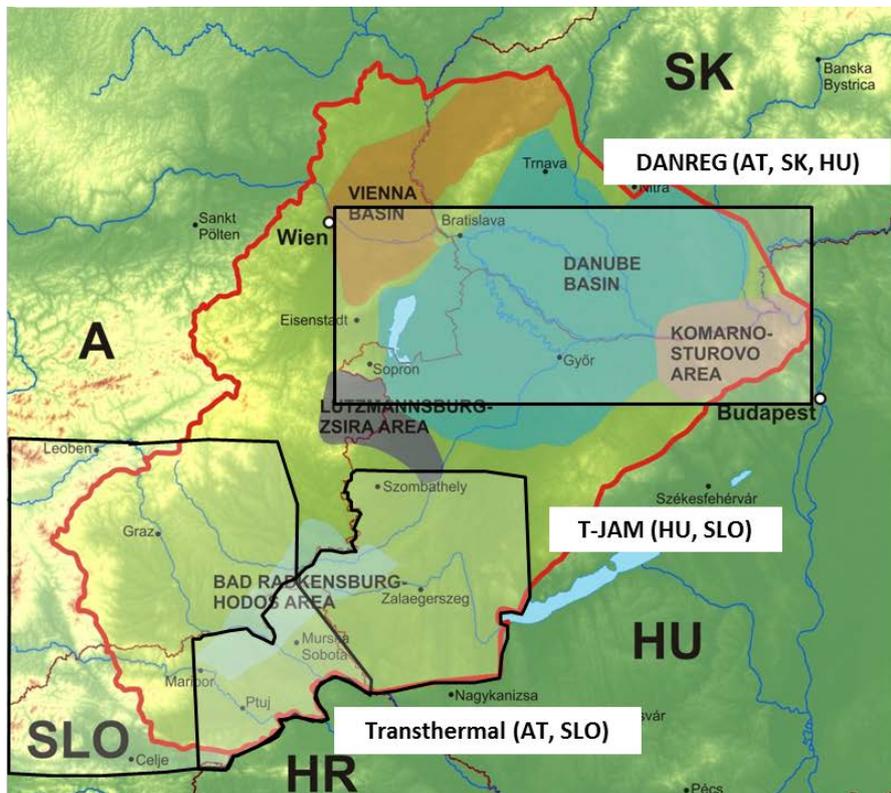
### **Datenlage und Kenntnisstand aus vorangegangenen Studien**

Die geothermischen Voraussetzungen im TRANSENERGY Projektgebiet wurden bereits in zahlreichen vorangegangenen Studien und Projekten unter der Beschränkung auf Teilregionen oder Teilaspekte der Geothermie behandelt.

Auf internationalem Niveau decken geothermische Atlanten Grundaspekte der Geothermie in Maßstäben größer 1:500.000 ab (HURTER & HAENEL, 2002; HURTIG et al., 1992). Die hierfür benutzten Daten aus Österreich waren jedoch mit starken Unsicherheiten behaftet, zumal aufgrund des damaligen Fehlens einer einheitlichen geothermischen Datensammlung für Österreich teilweise unsichere Daten (z.B. thermische Untersuchungen in alpinen Seen) bzw. weit gestreute thermische Daten benutzt worden sind.

Abseits der internationalen geothermischen Atlanten wurden im TRANSENERGY Projektgebiet im Laufe der vergangenen 20 Jahre mehrere internationale Studien im Maßstab kleiner 1:500.000 durchgeführt (Abbildung 4). Im Rahmen der Studie DANREG wurden im Zeitraum 1987 bis 1997 in Zusammenarbeit der Länder Ungarn, Slowakei und Österreich unterschiedliche geowissenschaftliche Themenkarten erstellt, die in einem zusammenhängenden Kartenwerk publiziert wurden, welches die Region entlang der Donau zwischen Wien und Budapest abdeckt. Unter diesen Themenkarten befindet sich auch eine

Geothermische Potenzialkarte, siehe Abbildung 5 (KOLLMANN et al., 1998). Unter dem Begriff „Potenzial“ wurden maximal zu erwartende Thermalwassertemperaturen bis Erreichen des kristallinen Untergrunds der betroffenen Becken verstanden. Die Darstellung der maximal zu erwartenden Temperaturniveaus erfolgt in einem stark generalisierten 4-Farben Schema. In den Erläuterungen zur Geothermischen Potenzialkarte (REMSIK et al., 2000) werden zudem in einigen Teilregionen geothermische Potenziale angeführt, eine flächendeckende Quantifizierung des geothermischen Potenzials fehlt jedoch.



**Oben:**  
Übersicht Projektgebiet inkl. Lage der Pilotgebiete, kombiniert mit den Bearbeitungsgebieten bereits abgeschlossener internationaler Studien.

**Unten:**  
Verteilung benutzten, publizierbarer Tiefbohrungen und interpretierten seismischer Linien im Projektgebiet

Abbildung 4.  
Überblick vorangegangener internationaler Studien und der Verteilung benutzter Tiefbohrungen und seismischer Linien im Projektgebiet.

Im Rahmen des von der EU-Interreg III finanzierten länderübergreifenden Projekts TRANSTHERMAL zwischen Österreich und Slowenien wurden im Zeitraum 2005 bis 2008 geothermische Karten für das Steirische Becken sowie den nordöstlichen Bereich von Slowenien erarbeitet (GOETZL et al., 2008).

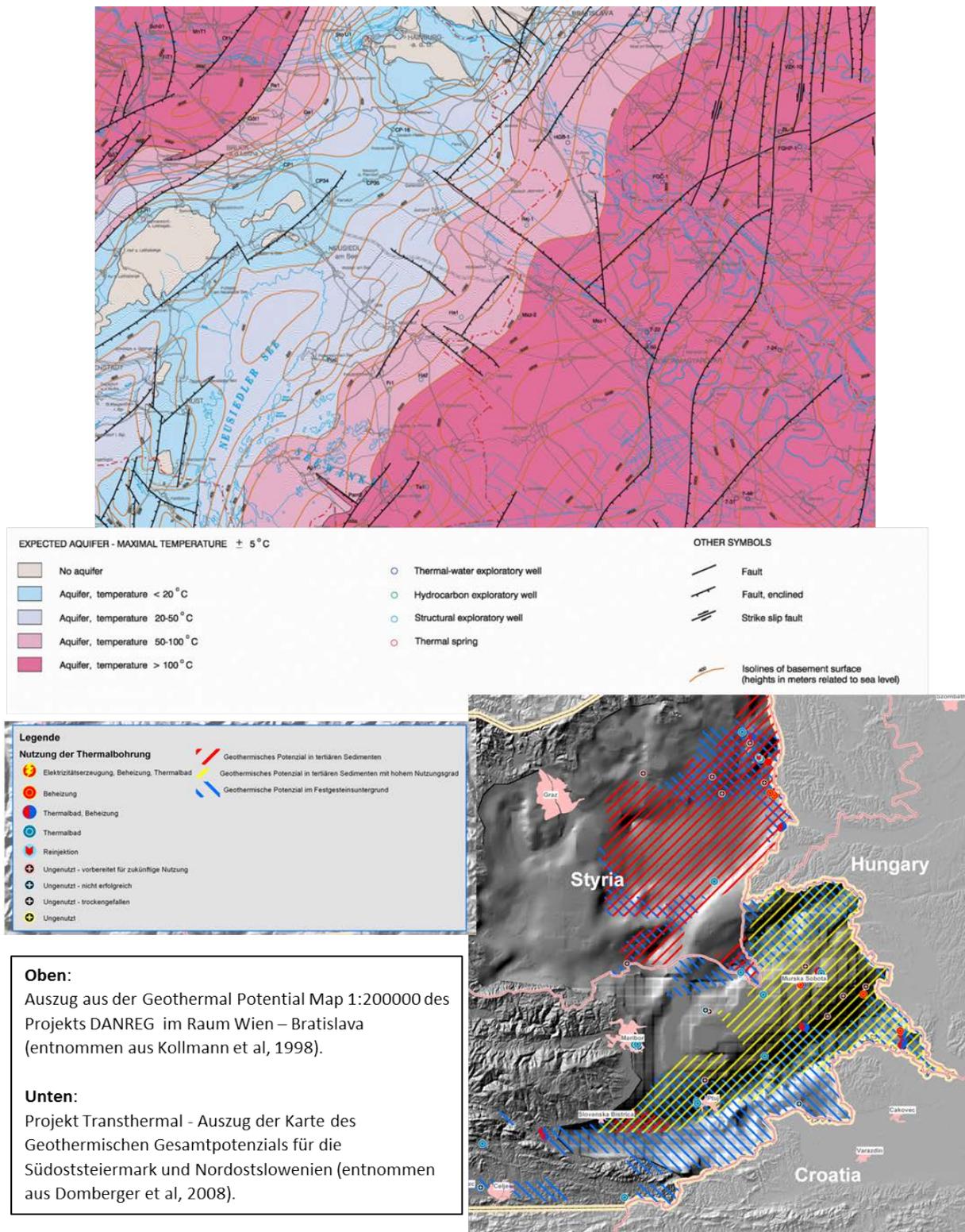


Abbildung 5.

Auszüge bestehender geothermischer Potenzialkarten im Projektgebiet, die im Rahmen der internationalen Forschungsstudien DANREG und TRANSTHERMAL erstellt worden sind.

Neben geothermischen Basiskarten (Wärmestrom sowie Temperaturverteilung in verschiedenen Tiefen) wurden auch qualitative geothermische Potenzialkarten kompiliert, die im Wesentlichen auf hydrogeologischen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Nutzungsdichte beruhen (Abbildung 5).

Darüber hinaus wurde im Zeitraum 2009 bis 2011 die länderübergreifende Interreg III Studie T-JAM in Kooperation der Länder Ungarn und Slowenien durchgeführt (Abbildung 4). Der räumliche Fokus dieser geothermischen Potenzialstudie lag auf dem Mura-Zala Becken. Für dieses Gebiet wurden unter Vernachlässigung österreichischer Daten unter anderem Temperaturkarten und numerische hydraulische Modelle erstellt (siehe auch <http://en.t-jam.eu/project/>).

Im Bereich des österreichischen Anteils des TRANSENERGY Projektgebiets liegen mehrere nationale geothermische Studien mit zumeist lokalem bis regionalem Charakter vor. Im Bereich des Oststeirischen Beckens wurden auf Grundlage von Aufnahmen artesischer Brunnen (ZOJER, 1977; ZÖTL & ZOJER, 1979) Verteilungskarten der Tiefentemperatur (Teufe 1.000 Meter unter Gelände) sowie der geothermischen Tiefenstufe erstellt. Diese Karten spiegeln jedoch in erster Linie die oberflächennahen geothermischen Verhältnisse wider, zumal die maximale Tiefenlage der untersuchten artesischen Wasserhorizonte ca. 200 bis 300 m beträgt.

Im Bereich des Wiener Beckens liegen wiederum lokale bis regionale Temperaturkarten in unterschiedlichen Maßstäben, erstellt aus prozessierten Bohrlochtemperaturen der OMV AG vor (ZEKIRI, 2011; GMEINER, 1996; LEUTNER, 1990). Die erste Wärmestromkarte für das südliche und zentrale Wiener Becken wurde von GOETZL et al. (2010) publiziert. Vor Beginn der Studie TRANSENERGY standen jedoch noch keine flächendeckenden geothermischen Karten für das gesamte Wiener Becken inklusive slowakischer Anteil zur Verfügung.

Abschließend wird noch auf die zur Verfügung gestandene, frei publizierbare Datenlage in Form von Tiefbohrungen mit erhobenen Kenndaten zum geothermischen Regime eingegangen (Abbildung 4 unten). Aufgrund restriktiver Datenschutzbestimmungen liegt in Österreich nur eine geringe Anzahl publizierbarer Tiefbohrungen vor. Lediglich ca. 10% der projektintern erhobenen und untersuchten Tiefbohrungen, vorrangig zu Zwecken der Erdölexploration durchgeführt, dürfen publiziert werden. Dem gegenüber steht eine hohe Dichte an publizierbaren Tiefbohrungen in den ehemaligen Ostblockländern. Die Ursache hierfür liegt in dem Umstand, dass der Schwerpunkt der Tiefbohrstätigkeit in den Zeiten des Sozialismus liegt und die erhobenen Daten nach der politischen Wende in frei publizierbares Volkseigentum übergingen.

Es kann zusammengefasst werden, dass die zu Eingang der Studie TRANSENERGY bereits publizierten Karten und Modelle mit Ausnahme der internationalen, grobmaßstäblichen geothermischen Atlanten heterogene Inhalte und Datenquellen sowie nur lokalen bis regionalen Charakter aufwiesen.

## **Problemstellung und Lösungsansätze**

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, finden im TRANSENERGY Projektgebiet bereits intensive geothermische Nutzungen statt, die mittlerweile auch schon Spuren in Form von herabgesetzter Produktivität einzelner Thermalwasserreservoirs sowie

in Form von Umweltbelastungen in einigen Oberflächengerinnen hinterlassen haben. Die Ursachen hierfür liegen (i) in der fehlenden bilateralen oder multilateralen Harmonisierung in der geothermischen Bewirtschaftung grenzüberschreitender Reservoirs, (ii) im fehlenden Verständnis von Nutzern hinsichtlich der Sensitivität vieler Reservoirs hinsichtlich einer Überbeanspruchung sowie (iii) in nationalen, sowie internationalen Konflikten unterschiedlicher Nutzungen im Untergrund.

Um diesen Konfliktpotenzialen entgegenwirken zu können, wurden im Rahmen der Studie TRANSENERGY länderübergreifende Modelle über die geothermischen Verhältnisse im Untergrund erstellt, die auf harmonisierten Eingangsdaten sowie auf harmonisierten Ansätzen (siehe dazu auch das nachfolgende Kapitel) beruhen. Die sowohl statischen als auch dynamischen (numerischen) Modelle wurden bzw. werden in 2 unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäben mit unterschiedlichen Inhalten und Herangehensweisen durchgeführt:

Im Rahmen von flächendeckenden überregionalen Modellen im Maßstab 1:500.000 werden die allgemeinen Rahmenbedingungen hinsichtlich der geothermischen Voraussetzungen und des gegenwärtigen Nutzungsgrads abgebildet. Hierauf basierend wurden in definierten Pilotgebieten (Abbildung 4) regionale Modelle im Maßstab 1:200.000 sowie 1:100.000 (Pilotgebiet Lutzmannsburg Zsira) erstellt, die einen detaillierten Einblick in geothermische Nutzungs- und Konfliktpotenziale erlauben. Sämtliche Pilotgebiete stellen Regionen mit relevanten geothermischen Nutzungskonflikten und dem Bedarf an einer harmonisierten und geordneten zukünftigen Thermalwasserbewirtschaftung dar. Zur Steigerung der Sensitivität der Öffentlichkeit hinsichtlich der Überbeanspruchung von geothermischen Ressourcen werden in diesen Pilotgebieten zudem „was wäre wenn“ Szenarien im Rahmen von gekoppelt thermisch-hydraulischen Simulationen durchgeführt. Die Verbreitung der erzielten Modelle erfolgt über ein projektspezifisches Web-Portal (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>).

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich in weiter Folge auf die Modellierungsarbeiten im überregionalen, flächendeckenden Maßstab.

## **Methodik und Vorgehensweise**

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, werden im Rahmen der Studie TRANSENERGY geowissenschaftliche Modelle in zwei unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäben (überregional 1:500.000 sowie regional in Pilotgebieten 1:200.000 bzw. 1:100.000). Des Weiteren wird zwischen statischen, initialen oder aktuellen Verhältnisse abbildende Modellen und dynamischen Szenariomodellen unterschieden. Die hierbei abzudeckenden, teilweise aufeinander aufbauenden Themenbereichen umspannen (a) den geologischen Aufbau des Untergrundes (Geologische Modelle), (b) die hydrogeologischen und hydraulischen Rahmenbedingungen (Hydrogeologische Modelle) sowie (c) die geothermischen Verhältnisse (Geothermische Modelle).

Die in Abbildung 6 angeführte Illustration beschreibt die allgemeine Herangehensweise, die eingesetzten Softwarepakete sind wiederum in Tabelle 1 angeführt.

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurden flächendeckende Modelle der oben angeführten Themenfelder erstellt, die als 2D Karten und Schnitte ausgegeben worden sind

(Überregionale Modelle). Die Überregionalen Modelle dienen einerseits der allgemeinen Übersicht zu den geothermischen Voraussetzungen im Projektgebiet und wurden von nur einem jeweils verantwortlichen Partner erstellt. Darüber hinaus lieferten die Überregionalen Modelle wichtige Randbedingungen für die später erstellten Detailmodelle in den einzelnen Pilotgebieten.

Die geowissenschaftlichen Modelle in den Pilotgebieten wurden bereits vollständig in 3D entwickelt, besitzen aber weiterhin regionalen Charakter. Hierbei wird jedoch bereits auf die jeweils gebietsspezifischen Fragestellungen (z.B. geothermische Nutzungspotenziale im Wiener Becken) eingegangen. Die Erstellung der Modelle oblag in den verschiedenen Pilotgebieten bereits unterschiedlichen Partnern, die auf Grundlage eines harmonisierten Datensatzes teilweise unterschiedliche Ansätze und Softwarepakete benutzten. Die erstellten geowissenschaftlichen Detailmodelle umfassten vertiefende geologische Modelle, die auf einer Erweiterung der überregionalen Modelle beruhen. Darüber hinaus wurden geothermische Modelle errechnet, die sich aus einer stationär durchzuführenden thermisch-hydraulischen Modellrechnung ergaben. Die thermischen Randbedingungen (Wärmefluss und thermische Gesteinsparameter) sowie die hydraulischen Randbedingungen (Recharge- und Discharge Gebiete, hydraulische Gesteinseigenschaften) wurden den überregionalen Modellen entnommen.

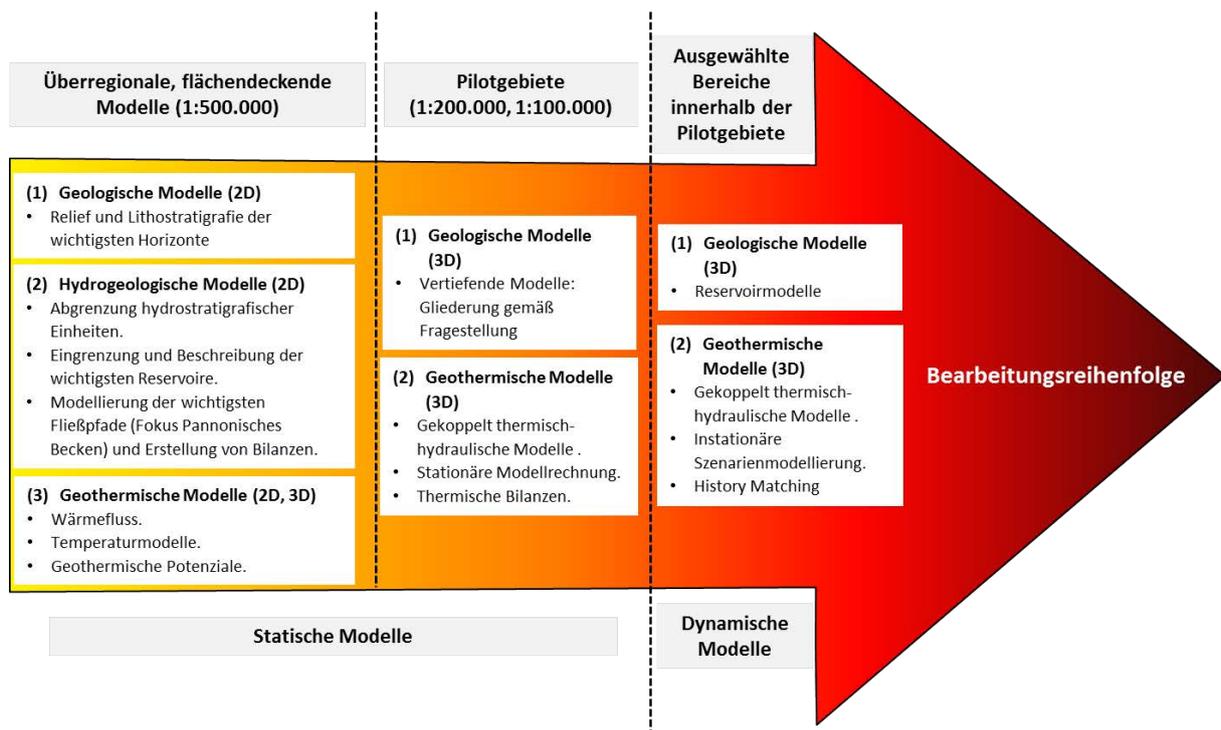


Abbildung 6.

Allgemeine Vorgehensweise in der Erstellung geowissenschaftlicher Modelle im Rahmen der Studie TRANSENERGY.

In einem abschließenden Bearbeitungsschritt der Studie TRANSENERGY werden auf Grundlage der regionalen Modelle in den unterschiedlichen Pilotgebieten Szenarien Modellierungen vorgenommen. Hierzu werden in ausgewählten Reservoirs innerhalb der Pilotgebiete Lokalmodelle erstellt, die im Wesentlichen die jeweiligen Thermalwasserreservoirs und deren angrenzenden Einheiten umfassen. Im Rahmen zeitabhängiger (transienter) gekoppelt thermisch-hydraulischer Simulationen die

Auswirkungen geothermischer Nutzungen prognostiziert. In Gebieten mit bereits nachweisbarer Herabsetzung der Produktivität wird zu Kalibrierungszwecken auch „History Matching“ durchgeführt. Der Fokus der Szenarien Modellierung liegt auf der Anwendung von geothermischen Dubletten zur Regenerierung intensiv genutzter Reservoirs und für eine nachhaltige Bewirtschaftung.

Ein wesentlicher Aspekt der gewählten Projektstrategie bestand in möglichst harmonisierten und interoperablen Anwendung von Softwarepaketen zur Erstellung der geowissenschaftlichen Modelle. Zu diesem Zweck war ursprünglich vorgesehen, idente Softwarepakete anzuwenden. Dies konnte jedoch aus finanziellen und organisatorischen Gründen nur im Fall der geothermischen Modellierung durch gemeinschaftliche Anwendung der Finiten Elemente Softwarepaket FEFLOW™ realisiert werden. Um Datensätze zwischen den Partnern austauschen zu können wurden in weiterer Folge Softwarepakete benutzt, die in der Lage waren Datensätze in Esri Datenformate (\*.shp oder \*.flt) bzw. in ASCII Textformate zu exportieren (Tabelle 1).

Themenfeld	Überregionale Modelle	Pilotgebiete und Szenarien Modellierung
<b>Geologische Modelle</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Jewel Suite™ (HU)</li><li>▪ Esri ArcGIS (HU)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Jewel Suite™ (HU, SLO)</li><li>▪ Esri ArcGIS (HU, AT)</li><li>▪ GOCAD (AT)</li></ul>
<b>Hydrogeologische Modelle</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ MODFLOW™ (HU)</li></ul>	Siehe „Geothermische Modelle“
<b>Geothermische Modelle</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Surfer™ (2D Interpolation, AT, HU)</li><li>▪ Comsol Multiphysics™ (Hintergrund Wärmefluss, HU)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ FEFLOW™ (AT, HU, SLO, SK)</li><li>▪ MODFLOW™ (SK, HU)</li><li>▪ Comsol Multiphysics™ (AT)</li></ul>

Tabelle 1.  
Übersicht der angewendeten Softwarepakete für die Erstellung der geowissenschaftlichen Modelle.

Auf die speziell angewendeten Berechnungs- und Modellierungsansätze wird aus Gründen der Übersicht im nachfolgenden Kapitel eingegangen.

## Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die bislang erarbeiteten geowissenschaftlichen Modelle exemplarisch vorgestellt. Sämtliche Ergebnisse können auf dem projektspezifischen Web-Portal (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at>) sowohl in analoger Berichtsform als auch als interaktiver GIS Datenlayer eingesehen werden.

## Überregionale geologische Modelle

Die flächendeckend für das gesamte Projektgebiet erstellten überregionalen geologischen Modelle dienen als geometrischer Rahmen für die nachfolgend erstellten hydrogeologischen und geothermischen Modelle. Ausgangspunkt der geologischen Modelle bildet eine vereinheitlichte Legende, die im Rahmen des Projekts TRANSENERGY auf Grundlage der

Geologischen Karte der Westkarpaten (LEXA et al., 2000), der DANREG Kartensammlung (PISTOTNIK et al., 2000) und auf den Ergebnissen des Projekts T-JAM (FODOR et al., 2011). Die neu kompilierte Legende umfasst 197 Legendeneinträge, die sich auf neun hydrostratigrafische Haupteinheiten bezieht (Tabelle 2). Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass bei der Gliederung der Haupthorizonte tektonische Merkmale teilweise vernachlässigt worden sind. Dies äußert sich beispielsweise in der Abbildung der nur in Ungarn bedeutsamen Basis Senonium (Oberkreide – Santonium), zumal im Senonium im Untergrund des Pannonischen Beckens im Gegensatz zu den übrigen Regionen des Projektgebiets relevante Reservoirs ausgebildet sind.

Im Allgemeinen ist zu erwähnen, dass die sich die erstellten geologischen Modelle jeweils auf die Basis der darüber befindlichen hydrostratigrafischen Haupteinheit beziehen. So zeigt zum Beispiel die Karte der Basis Sarmatium die liegenden hydrostratigrafischen Einheiten der darunter folgenden Zeitstufen. Die Untergliederung des Top Sarmatium ist in diesem Beispiel hingegen der Karte Basis Unterpannonium zu entnehmen.

Hydrostratigrafische Haupteinheit	Modellierte und interpretierte Horizonte (Kartenbeilage)
<b>Holozäne bis pleistozäne Alluvia und quartäre Ablagerungen im Allgemeinen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geologische Karte der Oberfläche 1:200.000 (Beilage 1.1)</li> </ul>
<b>Oberpannonium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Oberpannonium 1:500.000 (Beilage 1.2)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Oberpannonium 1:500.000 (Beilage 1.3)</li> </ul>
<b>Unterpannonium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Unterpannonium 1:500.000 (Beilage 1.4)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Unterpannonium 1:500.000 (Beilage 1.5)</li> </ul>
<b>Sarmatium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Sarmatium 1:500.000 (Beilage 1.6)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Sarmatium 1:500.000 (Beilage 1.7)</li> </ul>
<b>Badenium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Badenium 1:500.000 (Beilage 1.8)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Badenium 1:500.000 (Beilage 1.9)</li> </ul>
<b>Prä-Badenium (Karpatum – Eggenburgium)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Prä-Badenium 1:500.000 (Beilage 1.10)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Prä-Badenium 1:500.000 (Beilage 1.11)</li> </ul>
<b>Paläogen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Paläogen 1:500.000 (Beilage 1.12)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Paläogen-Badenium 1:500.000 (Beilage 1.13)</li> </ul>
<b>Beckenuntergrund 1 (Oberkreide - Paläozoikum)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Tertiär 1:500.000 (Beilage 1.14)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Prätertiär 1:500.000 (Beilage 1.15)</li> </ul>
<b>Beckenuntergrund 2 (Ungarn) (Unterkreide – Paläozoikum)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relief Basis Senonium 1:500.000 (Beilage 1.16)</li> <li>▪ Hydrostratigrafische Gliederung Prä-Senonium 1:500.000 (Beilage 1.17)</li> </ul>

Tabelle 2.  
 Übersicht der hydrostratigrafischen Haupthorizonte und der darauf beziehenden modellierten Karten.

Die Datengrundlage der modellierten geologischen Horizonte stellten im ungarischen, slowenischen und slowakischen Projektgebiet neu interpretierte seismische Linien, zuvor harmonisierte Formationskontakte in Bohrungen sowie harmonisierte geologische Karten und Profilschnitte dar (Abbildung 4, unten). Die Eingangsdaten wurden anschließend in Esri ArcGIS™ und Jewel Suite™ durch den ungarischen Partner verarbeitet. Aus Datenschutzgründen wurde in Österreich eine andere Vorgehensweise gewählt. Eingangsdaten in Form von harmonisierten Formationskontakten in Bohrungen sowie geologische Karten und Schnitte wurden von der Geologischen Bundesanstalt mit Hilfe des Softwarepakets GOCAD™ zu Reliefmodellen interpoliert und anschließend dem ungarischen Partner (MFGI – Geologischer Dienst Ungarns) zur Implementierung in das Gesamtmodell in Form von Esri Datensätzen übergeben. Dies führte schließlich zu dreidimensionalen Teppichmodellen der Haupthorizonte, die abschließend hinsichtlich der Verbreitung der einzelnen hydrostratigrafischen Typen interpretiert und als zweidimensionale Karten ausgegeben wurden.

Die erarbeiteten geologischen Modelle werden im Nachfolgenden am Beispiel der Karte des prätertiären Beckenuntergrundes (Beilage 1.14, Abbildung 7) und anhand von 2 geologischen Schnitten durch das Projektgebiet (Beilage 1.18, Abbildung 8) vorgestellt:

Die Karte des prätertiären Untergrundes im Projektgebiet liefert einen groben Überblick der Verteilung der gemäß hydrostratigrafischen Gesichtspunkten interpretierten und harmonisierten Einheiten im Projektgebiet im Maßstab 1:500.000. Die zu Grunde liegende vereinheitlichte Legende benutzt eine sehr generalisierte tektonische Gliederung bestehend aus den Hauptelementen **(1) Einheiten der Böhmisches Masse** (Autochthoner Untergrund des Molassebeckens und Kristallin der Böhmisches Masse), **(2) Allochthone Ozeanische Ablagerungen** (Waschbergzone, Helvetikum, Penninikum: Flyschzone und Rechnitzer Fenster), **(3) Einheiten der ALCAPA Mikroplatte** (kristalline und sedimentäre Einheiten des Austroalpins, des Tatrikums, des Transdanubischen Gebirgszuges und der Karawanken), **(4) Südalpine Einheiten und Dinariden** in untergeordneter Verbreitung sowie **(5) Vulkanite und subvulkanische Plutonite**. Die Einheiten der ALCAPA Mikroplatte (3) besitzen jedoch die weiträumigste Verbreitung im Projektgebiet sowie die größte Variationsbreite an unterschiedlichen Formationen.

Ein wesentlicher Anteil des prätertiären Beckenuntergrundes wird von dichten kristallinen- (Austroalpines Kristallin, Index: *Pz\_Azr*) und metamorphen Einheiten (Bük Formation und Grazer Paläozoikum in phyllitischer Ausbildung, Index: *Dmb* und *SD\_G* sowie penninische Einheiten des Rechnitzer Fensters, Index: *JK1\_Pe*) bedeckt. In diesem Areal sind Thermalwasserreservoirs ausschließlich auf die neogene Beckenfüllung des Pannonischen Beckens beschränkt. Die Ausnahme bilden hydraulisch leitfähige Karbonate des Grazer Paläozoikums (Blumau Formation – *SD\_BI*, Schöckelkalk Serie – nicht untergliedert in *DmB*). Der kristalline Sockel des Austroalpins und Tatrikums besitzt eine Südwest – Nordost streichende Hochzone mit Ausbissen im Bereich des Semmeringgebiets – Leithagebirges - Soproner Berge und Hainburger Berge. Sein Einfallen ist nach Südost moderat und nach Nordwest steil bis überkippt und entlang eines bis zu 50 km breiten Streifen liegen tertiäre Ablagerungen direkt auf kristallinem Grundgebirge, ehe der kristalline Sockel im Nordosten des Projektgebiets abrupt entlang einer tektonischen Störung abgesenkt wird und wiederum mesozoische Sedimenthüllen vorhanden sind (Abbildung 8). Die Struktur des kristallinen Sockels führt zu unterschiedlich ausgeprägten prätertiären Sedimentschichten des



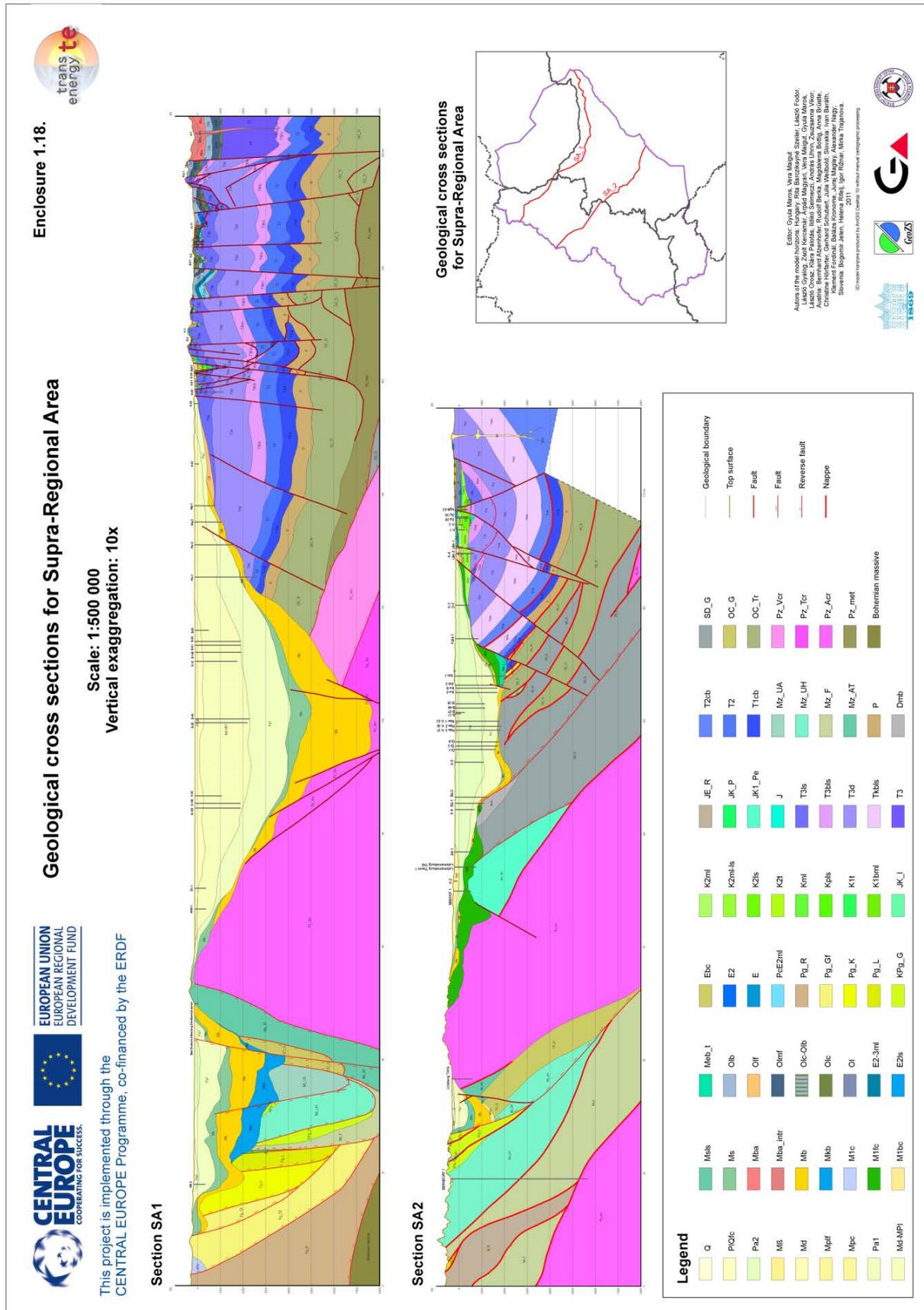


Abbildung 8.  
 Beilage 1.18: Geologische Profilschnitte durch das Projektgebiet.

#### *Areale nördlich des kristallinen Sockels:*

Im Bereich des Oberostalpins im Wiener Becken bilden die obertriassischen und mitteltriassischen Karbonate des Bajuvarikums (*Mz\_F*), Tirolikums (*Mz\_UH*) und Juvavikums (*Mz\_UA*) die wichtigsten Reservoirs. Sie besitzen zudem besondere Bedeutung, da sie sich grenzüberschreitend in den slowakischen Anteil des Wiener Beckens fortsetzen (Fatric Einheit *Mz\_F* oder Hronic Einheit *Mz\_UH*). Am Südrand des Wiener Beckens bilden hydraulisch leitfähige Karbonate (Muschelkalk Fazies) der sedimentären Hülle der Flanken des kristallinen Sockels (Austroalpin – Tatrikum, *Mz\_AT*) lokal bis regional bedeutende Reservoirs aus. Auch diese Einheiten setzen sich in slowakisches Gebiet fort (Veporic Einheit *Mz-V*). Dort bedecken sie im Nordosten des Projektgebiets vollständig den abgesunkenen kristallinen Sockel.

#### *Areale innerhalb des kristallinen Sockels:*

Wie bereits angesprochen weisen, paläozoische Karbonate im Untergrund des Steirischen Beckens (*SD\_BI*, *DmB*) relevante Thermalwasseraquifere auf. Eine Sonderstellung nehmen autochtone mesozoische Karbonate im Raum Bad Radkersburg – Hodos ein (*Pz-Mz*). Die tektonische Zuordnung sowie deren tatsächliche Ausbreitung sind aufgrund fehlender Daten nicht restlos geklärt. Sie sind primär an Grabenstrukturen gebunden und werden nach Osten durch mächtige Abschiebungen unterbrochen.

#### *Areale südlich des kristallinen Sockels:*

Die Areale südlich des kristallinen Sockels liegen größtenteils auf ungarischem Staatsgebiet. Slowenien besitzt geringe Anteile am südlichen Rand des Projektgebiets.

Im Bereich des Untergrunds des Pannonischen Beckens (Transdanubisches Gebirge) sind folgende Formationen vom Hangenden ins Liegende folgend von Relevanz:

Trias der ALCAPA Mikroplatte: Karbonate Untertrias bis Mitteltrias (z.B. Aszófő Dolomit, Iszkahegy Kalk oder Megyehegy Dolomit: *Tacb*); Karbonate der Obertrias (z.B. Hauptdolomit, Sédvölgy Dolomit - *T3d* und Dachstein-Kardosrét Kalk – *T3ls*)

Kreide bis Jura der ALCAPA Mikroplatte: Senonium (Ugod Kalkstein – *K2ls*)

Trias des Südalpins / Dinariden: Mitteltriassische Karbonate (*T23\_SKcb*)

Generell ist anzumerken, dass der Beckenuntergrund des südlichen Areals gebietsweise tektonisch stark beansprucht und als Folge von Blattverschiebungen zergliedert ist. Unter Berücksichtigung ihrer räumlichen Verbreitung und Mächtigkeit stellen Karbonate des Senonium und der Obertrias die wichtigsten Thermalwasserreservoirs des Beckenuntergrundes dar.

### **Überregionale geothermische Modelle**

Wie bereits in der vorliegenden Arbeit erwähnt, dienen die überregionalen geothermischen Modelle neben der Lieferung von thermischen Randbedingungen für die regionalen geothermischen Modelle in den Pilotgebieten der Schaffung eines Überblicks über die geothermischen Voraussetzungen und Nutzungspotenziale im Projektgebiet. Hierbei sollen generell hoffige Gebiete von ungeeigneten Gebieten unterschieden werden.

Im Zuge des Aufbaus überregionaler geothermischer Modelle wurden insgesamt 16 Karten im Maßstab 1:500.000 erarbeitet, die den Themengruppen *Wärmefluss – Temperaturverteilung in verschiedenen Tiefen – Tiefenkarten verschiedener Temperaturniveaus* sowie der Themengruppe *Potenzial- und Ressourcenkarten* zuzuordnen sind (Tabelle 3).

Themengruppe	Titel und Karteninhalt
<b>Wärmefluss</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Karte der terrestrischen Wärmeflussdichte</li> </ul>
<b>Temperaturverteilungen in verschiedenen Tiefen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperaturverteilung in einer Teufe von 1.000 Meter u. GOK</li> <li>▪ Temperaturverteilung in einer Teufe von 2.500 Meter u. GOK</li> <li>▪ Temperaturverteilung in einer Teufe von 5.000 Meter u. GOK</li> </ul>
<b>Teufenverteilungskarten verschiedener Temperaturniveaus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teufenverteilung der 50°C Isotherme</li> <li>▪ Teufenverteilung der 100°C Isotherme</li> <li>▪ Teufenverteilung der 150°C Isotherme</li> </ul>
<b>Potenzial- und Ressourcenkarten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Heat in Place in sedimentären Beckenfüllungen</li> <li>▪ Heat in Place in den obersten 50 Metern des Beckenuntergrundes</li> <li>▪ Heat in Place in den obersten 5 km der Erdkruste</li> <li>▪ Heat in Place in den obersten 7 km der Erdkruste</li> <li>▪ Identifizierte geothermische Ressourcen in sedimentären Beckenfüllungen</li> <li>▪ Identifizierte geothermische Ressourcen in den obersten 50 Metern des Beckenuntergrundes</li> <li>▪ Identifizierte geothermische Ressourcen in den obersten 5 km der Erdkruste</li> <li>▪ Identifizierte geothermische Ressourcen in den obersten 7 km der Erdkruste</li> </ul>

Tabelle 3.  
 Übersicht der erarbeiteten geothermischen Karten.

Die Grundlage der erarbeiteten Karten bildete vorrangig die 2D und 3D Interpolation zuvor harmonisierter thermischer Eingangsdaten mit Hilfe der Softwarepakete Surfer™ (2D) und Comsol Multiphysics™. Zu diesem Zweck wurden die aus Temperaturmessungen in Tiefbohrungen gewonnen geothermischen Kenndaten gemäß einheitlicher Prozessingstandards aufbereitet. Diese beruhten innerhalb der unterschiedlichen Bohrungen auf Inter- und Extrapolationsmethoden gemäß dem Wärmeleitungsgesetzes (Fourier Gesetz) oder der empirischen Intervall Methode (berücksichtigt bei der Interpolation auch implizit Wärmetransport durch Konvektion).

Die Potenzialgröße „Heat in Place“ (gespeicherter Wärmeinhalt) gibt den in einem Gebirgsblock enthaltenen flächenspezifischen Wärmeinhalt (Einheit J/m<sup>2</sup>) wieder und ist als physikalische Begrenzung des maximal entziehbaren Wärmeinhalts<sup>3</sup> zu verstehen. Die Ressourcenkennzeichnende Größe „Identifizierte Geothermische Ressourcen“ ergibt sich

<sup>3</sup> Es ist technisch nicht möglich den gesamten Wärmeinhalt eines Gebirgsblocks auf eine technische Referenztemperatur abzukühlen, da der primäre Wärmeentzug im Untergrund über Wärmeleitung erfolgt und dies einen sehr langsamen Prozess darstellt.

aus dem Produkt aus Heat in Place und einem technischen Gewinnungsfaktor<sup>4</sup>. Dieser Gewinnungsfaktor wurde im Zuge der überregionalen Modelle einheitlich auf 0.33 gesetzt, welcher gemäß HURTER & HAENEL (2002) als erste Abschätzung der Effizienz geothermischer Dubletten benutzt werden kann.

Im nachfolgenden werden wiederum exemplarisch die Karten „Tiefe der 100°C Isotherme“ (Abbildung 9), „Identifizierte geothermische Ressourcen in sedimentären Beckenfüllungen“ (Abbildung 10) sowie „Identifiziere geothermische Ressourcen in den obersten 5 km der Erdkruste“ (Abbildung 11) vorgestellt:

#### Karte der Tiefe der 100°C Isotherme

Die Teufenverteilungskarte der 100°C Isotherme wurde mittels 3D Interpolation aus den Temperaturverteilungskarten in verschiedenen Tiefen berechnet. Sie dient dazu eine Übersicht der unterschiedlichen Explorationstiefen zum Erreichen von Formationstemperaturen von mindestens 100°C zu vermitteln. Dieses Temperaturniveau kann als kritisches Niveau zur geothermischen Stromproduktion mittels binärer Zyklen (z.B. ORC Prozess) angesehen werden. Die Tiefe der 100°C Isotherme schwankt im Projektgebiet im Wertebereich von 1.500 bis 5.000 Meter unter Gelände (Variationsbreite Faktor 3). Da Bohrkosten einen erheblichen Anteil der Investitionskosten einer geothermischen Anlage darstellen und diese nichtlinear mit der Tiefe zunehmen, liefert die Verteilungskarte der 100°C Isotherme bereits wichtige Hinweise auf Gebiete mit wirtschaftlich günstigen Voraussetzungen für geothermische Anwendungen. Die günstigsten Gebiete liegen hierbei einerseits in den südlichen Arealen des Projektgebiets (Zala Becken, Steirisches Becken). Ungünstige Bereiche sind hingegen entlang der Abstiegswege meteorischer Wässer im Bereich des Transdanubischen Gebirgszuges sowie am Ostrand der Alpen gegeben.

#### Karte der Tiefe der identifizierten geothermischen Ressourcen in den sedimentären Beckenfüllungen

Die identifizierten geothermischen Ressourcen korrelieren mit dem gespeicherten Wärmeinhalt (Heat in Place), welcher wiederum mit der Mächtigkeit der Sedimentbecken und deren lithologischem Aufbau korreliert (Gesteinsparameter: Wärmeleitfähigkeit und effektive Porosität). Das Niveau der geothermischen Ressourcen wird wiederum von der angenommenen technischen Referenztemperatur (hier 25°C) bestimmt, wobei der Rechnung zu Grunde liegt, dass das Reservoir sukzessive auf die technische Referenztemperatur abgekühlt wird. Aufgrund der anzutreffenden Beckenstruktur sind die größten geothermischen Ressourcen in den Depozentren des Wiener Beckens und Donau Beckens sowie in den Grabenstrukturen des Mura-Zala Beckens zu erwarten. Aufgrund der enormen Tiefe des Donau Beckens (Profilschnitt Abbildung 8) sind die höchsten Ressourcen im Raum Győr berechnet worden. Es ist jedoch an dieser Stelle kritisch anzumerken, dass die Verbreitung von vermuteten und nachgewiesenen Thermalwasservorkommen in dieser hypothetischen Ressourcenkarte nicht berücksichtigt worden ist. Es ist daher von maximal möglichen geothermischen Ressourcen zu sprechen.

---

<sup>4</sup> Der Gewinnungsfaktor 1 bedeutet, 100% des Wärmeinhalts kann genutzt werden.



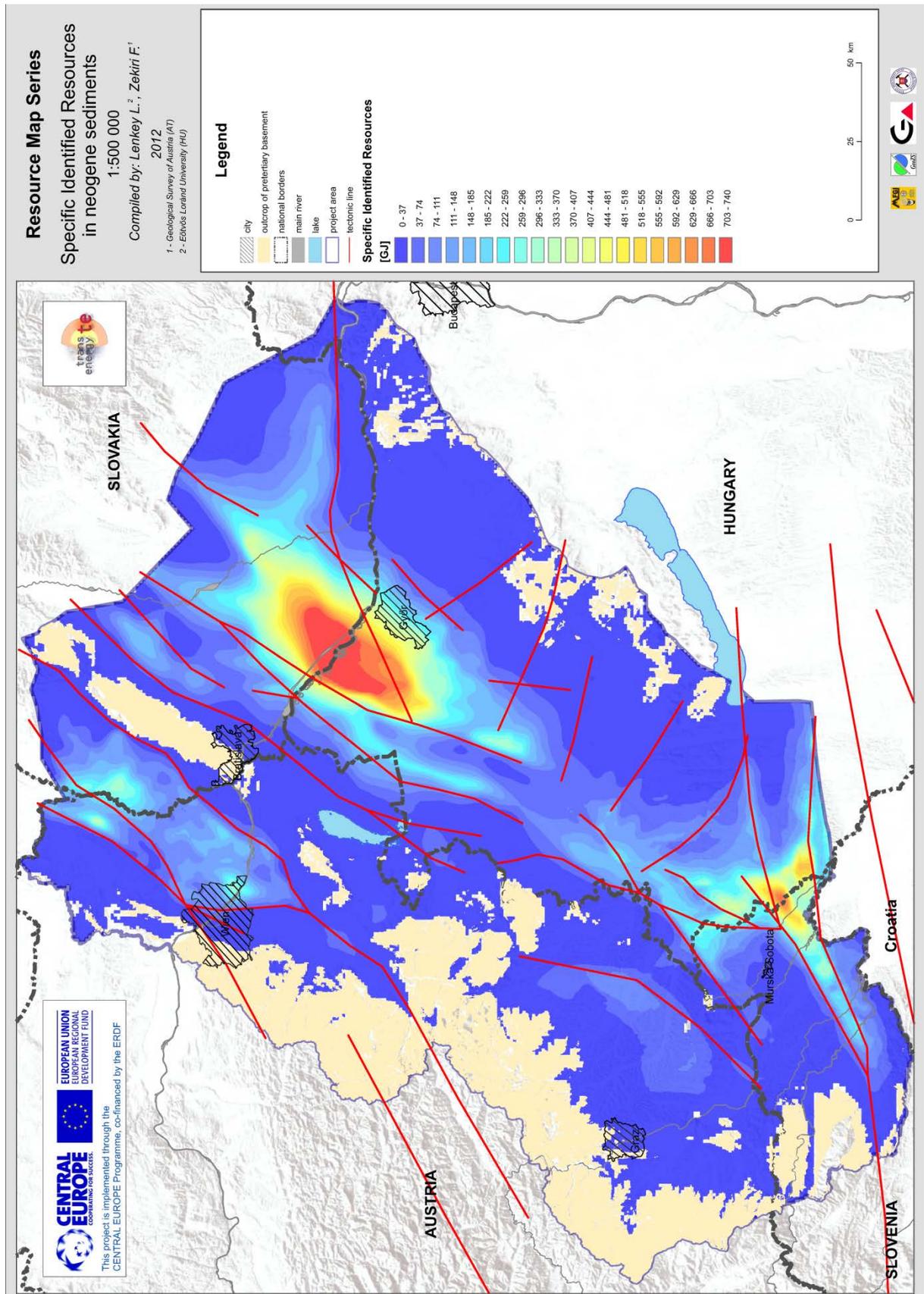


Abbildung 10.  
 Karte der identifizierten geothermischen Ressourcen in den tertiären Beckenfüllungen.

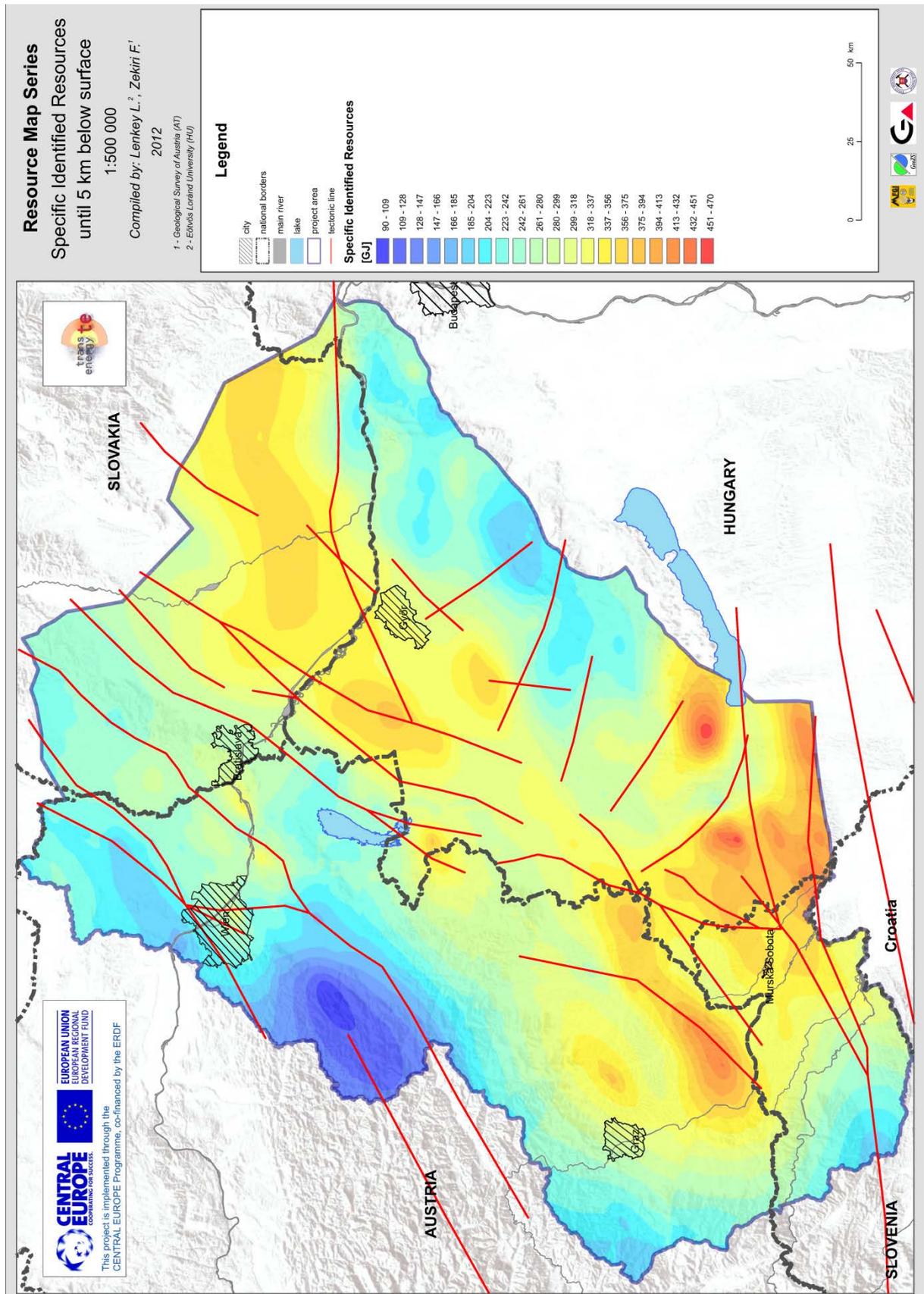


Abbildung 11.  
 Karte der identifizierten geothermischen Ressourcen in den obersten 5 km des Untergrundes.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die im Rahmen der Studie TRANSENERGY erstellten bzw. noch abzuschließenden geowissenschaftlichen Modelle dienen einer zukünftig möglichst national bzw. bilateral abgestimmten, nachhaltigen Bewirtschaftung der im Projektgebiet vorhandenen Thermalwässer. Dies wird erreicht durch:

- Abbildung der geothermischen Voraussetzungen und Nutzungspotenziale.
- Quantifizierung von Ressourcen.
- Abbildung und Bilanzierung der vorhandenen Thermalwässer.
- Ausweisung von Gebieten mit Nutzungs- und Konfliktpotenzialen.
- Steigerung der Verständnis von Nutzern, potenziellen Investoren und der interessierten Öffentlichkeit hinsichtlich der Begrenztheit der Ressource Thermalwasser durch „was wäre wenn“ Szenarien Modellierungen.

Der Aufbau der geowissenschaftlichen Modelle erfolgt in zwei unterschiedlichen Bearbeitungsmaßstäben: In einem überregionalen, flächendeckenden Maßstab von 1:200.000 und 1:500.000 (Überregionale Modelle) sowie in einem lokalen bis regionalen Maßstab (max. 1:200.000) in ausgewählten Pilotgebieten, in denen Anwendungs- aber auch Konfliktpotenziale gegeben sind (Regionalmodelle und Szenarienmodelle). Die geowissenschaftlichen Modelle umfassen hierbei die Themengebiete Geologie, Hydrogeologie und Geothermie.

Die Verbreitung der erzielten Modelle erfolgt hierbei in Form von analogen Karten und interaktiven Datenlayern auf einem projektspezifischen Web-Portal, welches unter der Adresse <http://transenergy-eu.geologie.ac.at> erreicht werden kann.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit sind die überregionalen geowissenschaftlichen Modelle weitgehend abgeschlossen, die lokalen bis regionalen Modelle gegenwärtig in Bearbeitung. Im Rahmen dieser Arbeit wurden geologische und geothermische Modelle vorgestellt.

Die geologischen Modelle wurden am Beispiel einer harmonisierten geologischen Karte des prätertiären Beckenuntergrundes sowie am Beispiel von 2 Profilschnitten durch das Projektgebiet vorgestellt. Beide Modelle liefern einen guten Überblick der Verbreitung Thermalwasser höffiger Formationen, durch die Harmonisierung internationaler Daten konnte zudem die Verbreitung länderübergreifender Reservoirs, wie zum Beispiel die mesozoischen Karbonatzüge im Raum Bad Radkersburg – Hodos aktualisiert werden. Aufgrund des gewählten überregionalen Maßstabes ist eine detaillierte Ausweisung einzelner Thermalwasserkörper jedoch nicht möglich. Zudem ist die Kombination aus Bezugsniveau der Basis eines hangenden Schichtkomplexes mit der lithostratigrafischen Gliederung am Top des liegenden Schichtkomplexes eingangs verwirrend. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass sich die gewählte Darstellungsweise jedoch bei der interaktiven Darstellung der vorhandenen Layer in Web-basierten GIS Systemen jedoch bewährt.

Die vorgestellten geothermischen Modelle dienen vor allem der Ausweisung von Höffigkeitsgebieten geothermischer Nutzungen (z.B. Tiefenlage der 100°C Isotherme). Aus ressourcentechnischen Gründen musste sich die Berechnung der geothermischen Ressourcenkarten auf stark generalisierten Annahmen (einheitlicher technischer Gewinnungsfaktor) beschränken. Die erzielten Kenngrößen sind in diesem Zusammenhang

als maximal zu erwartende Obergrenzen zu verstehen. Weitere Verbesserungen der räumlichen Aussagekraft sind durch Verschneidung der Ressourcenkarten mit den geologischen Karten des Untergrundes zu erzielen – auch dies ist in den Web-basierten GIS Anwendungen des projektspezifischen Portals möglich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Studie TRANSENERGY erstmals harmonisierte Datensätze und Modelle des Westpanonischen Raum durch Einbezug aller räumlich involvierten Staaten (Österreich, Ungarn, Slowakei und Slowenien) vorliegen.

## Quellen

- ÁRPÁSI, M. (2003): Geothermal development in Hungary – country update report 2000–2002. – *Geothermics*, **32**, 371–377, Amsterdam.
- DOMBERGER, G., LAPANJE, A. & POLTNIG W. (2008): Geothermisches Potenzial (Festgesteinsuntergrund). – Endbericht der Studie Transthermal, Beilage 14, Geol. B.-A, Wien.
- FENDEK, M. & FENDEKOVA, M. (2010): Country Update of the Slovak Republic. – Proceedings of the World Geothermal Congress 25.–29. April 2010, Bali, Indonesia.
- FODOR, L., UHRIN, A., PALOTÁS, K., SELMECZI, I., NÁDOR, A., TÓTH-MAKK, Á., SCHAREK, P., RIŽNAR, I. & TRAJANOVA, M. (2011): Geological conceptual model within the framework of project T-JAM – Screening of the geothermal utilization, evaluation of the thermal groundwater bodies and preparation of the joint aquifer management plan in the Mura-Zala basin. – 70 p., Ljubljana – Budapest.
- GOETZL, G., LIPIARSKI, P., LETOUZÉ, G., LAPANJE, A., RAJVER, D., RMAN, N., HRIBERNIK, K., BUDKOVIC, T., DOMBERGER, G., POLTNIG, W., BAEK, R. & SUETTE, G. (2008): Transthermal – Trans-Border Geothermal Potential Study between Austria and Slovenia. – *IGA News, Newsletter of the International Geothermal Association*, **73**, 3–5, Reykjavik.
- GOETZL, G., FABER, R., JANDA, C., SCHUBERT, G. & ZEKIRI, F. (2010): Coupled geothermal – hydraulic 3D modeling of the Southern Vienna Basin. A state of the art decision planning tool for sustainable hydrothermal exploitation inside an environment of sensitive hydraulic circulation systems. – Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25.–29. April 2010.
- GMEINER, B. (1996): Korrekturverfahren in der Geothermie an den Beispielen von IR-Oberflächentemperaturen und Bohrlochtemperaturmessungen. – Univ. Diss., Wien.
- GOLDBRUNNER, J. (2005): Bad Blumau (Styria, Austria) – The success story of combined use of geothermal energy. – *GHC Bulletin*, June 2005; p 27–30.
- GOLDBRUNNER, J. (2010): Austria – Country Update. – Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25.–29. April 2010.
- HURTIG, E., CERMÁK, V., HAENEL, R. & ZUI, V. (Eds.) (1992): *Geothermal Atlas of Europe*, Gotha.

- HURTER, S. & HAENEL, R. (Eds.) (2002): Atlas of the geothermal resources in Europe. – Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities.
- KOLLMANN, W.F.H., ROTAR-SZALKAI, A., RERNSIK, A. & KOLLMANN, W.F.H. (Ed) (1998): Danube Region Environmental Geology Programme (DANREG): Danube Region Vienna – Bratislava – Budapest: Geothermal Potential Map 1:200.000. – MAFI, Polestar, Budapest.
- KOVAC, M., ZLINSKA, A., HALASOVA, E., HOLCOVA, K. & HUDACKOVA, N. (2000): Neogene sequence stratigraphy of the Western Carpathian Basins. – Mitt. Ges. d. Geologie- und Bergbaustud. in Österr., **43**, 75, Wien.
- LENKEY, L. (1999): Geothermics of the Pannonian Basin and its Bearing on the Tectonics of Basin Evolution. – Department of Sedimentary Geology, Faculty of Earth Sciences, University of Amsterdam; printed by FEBO, Enschede.
- LENKEY, L., DÖVÉNYI, P., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S.A.P.L. (2002): Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the Neotectonics. – EGU Stephan Mueller Special Publication Series, **3**, 29–40, European Geosciences Union.
- LEUTNER, M. (1990): Die Temperaturverteilung im Neogen des Wiener Beckens und dessen Untergrund. – Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben.
- LEXA, J., BEZÁK, V., ELEČKO, M., MELLO, J., POLÁK, M., POTFAJ, M. & VOZÁR, J. (Eds.) (2000): Geological map of Western Carpathians and adjacent areas 1:500.000. – Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava.
- PISTOTNIK, J., PRISTAS, J., ELECKO, M., KONECNY, V., VASS, D., VOZAR, J. & CSÁSZÁR, G., (Ed.) (2000): Surface Geological Map – Jb. Geol. B.-A., **142**, 421–445, Wien.
- RAJVER, D., LAPANJE, A. & RMAN, N. (2010): Geothermal Development in Slovenia: Country Update Report 2005–2009. – Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
- REMSIK, A., ROTARNE-SZALKAI, A., & KOLLMANN, W.F.H. (Ed.) (2000): Geothermal Potential Map. – Jb. Geol. B.-A., **142**, 535–544, Wien.
- RMAN, N. & FUKS, T. (2012): Transenergy – Database of users and database of current and potential utilization parameters, 29.02.2012. – <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/> [Zugriff am 30.08.2012].
- STRAKA, W. (2008): Pantherm – Technologie-Netzwerk zur Implementierung einer integrativen Wärmeenergienutzung in Thermalbädern der Westpannonischen Region. – Endbericht Projektnummer 815098; Programm Circe der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft, 18.11.2008, Wien.
- TOTH, A. (2010): Hungary Country Update 2005–2009. – Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
- WEBER, F. (1967): Die Ergebnisse der geophysikalischen Messungen in der Mineralwassertiefbohrung Oberlaa. – Erdöl-Erdgas Zeitschrift, **83**, Wien.
- ZEKIRI, F. (2011): Erstellung von Temperaturkarten in verschiedenen Tiefen im südlichen Wiener Becken. – 218 S., Unveröff. Diplomarbeit Univ. Wien.

ZÖTL, J. & ZOJER, H. (1979): Bericht über die Erstellung einer Karte der geothermischen Tiefenstufe für den Bereich des südlichen Burgenlandes. – Bericht Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt B-A-006/79, Joanneum Research, Graz.

ZOJER H., (1977): Untersuchung der geothermischen Tiefenstufe mittels Temperaturmessungen bei artesischen Brunnen in der Oststeiermark und im südlichen Burgenland. – Verh. Geol. B.-A., 1977, 393–403, Wien.